

Johannes Laine

Itsestään ohjautuvien pikkubussien kustannus- hyödyt julkisessa liikenteessä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Tradenomi

Liiketalouden tutkinto-ohjelma

Opinnäytetyö

Lokakuu 2017

Tekijä(t) Otsikko	Johannes Laine Itsestään ohjautuvien pikkubussien kustannushyödyt julkisessa liikenteessä
Sivumäärä Aika	56 sivua Lokakuu 2017
Tutkinto	Tradenomi
Koulutusohjelma	Liiketalouden tutkinto-ohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	Markkinointi
Ohjaaja(t)	Lehtori Antti Hovi
<p>Tämä tutkimus tehtiin itsestään ajavien pikkubussien automaation kustannussäästöjen selvittämiseksi. Tavoitteena oli myös verrata automaattibussien kustannuksia nykyisen joukkoliikenteen bussien kustannuksiin. Työ toteutettiin Robusta-hankkeelle, joka on automaation etäohjausta kehittävä tutkimuskonsortio. Hanke tarvitsi lisäselvityksiä automaattipikkubussien kustannuksista.</p> <p>Tutkimusta varten on haastateltu Robustan asiantuntijoita. Työn pohjana toimii myös kansainvälisten yritysten edustajien lausunnot ja eri tutkimustuloksista saadut tiedot, sekä luotettavat internetlähteet.</p> <p>Edellä kuvatun tavoin hankittua pohjatietoa vertailtiin keskenään ja täten varmistettiin kustannustietojen oikeellisuus. Tämän jälkeen on vertailtu nykyisten pikkubussien liikennöinnistä aiheutuvia kustannuksia ja automaattipikkubussien kustannuksia keskenään. Kustannusrakennevertailun lisäksi toteutettiin kustannuslaskelmia. Yhteenvetona havainnollistettiin löydetty tulokset esimerkkireitille.</p> <p>Keskeisempänä tuloksena voidaan pitää sitä, että automaattibussien käyttö on nykyistä dieselpikkubusseja kustannustehokkaampi ratkaisu lähiliikenteen toteuttamiseen. Verrattuna dieselpikkubusseihin kokonaissäästö on melkein 30 prosenttia. Henkilöstökustannusten osalta säästöä syntyy 80 prosenttia. Nämä kustannussäästöt on mahdollista tavoittaa 4-5 vuoden kuluessa.</p> <p>Joukkoliikenteen nykyinen kustannusrakenne muuttuu tulevaisuudessa. Poltto- ja voiteluainekustannukset muuttuvat energian hinnan ja akkujen kustannuksiksi. Huoltokustannukset alenevat automaation myötä. Automaattibussien pullonkaulana pidetyt sensoreiden hinnat tulevat laskemaan vauhdilla, mikä alentaa bussien kokonaiskustannuksia.</p> <p>Alussa henkilökustannukset säilyvät nykyisellään, mutta pidemmällä aikavälillä henkilöstökustannukset tulevat putoamaan etävalvojan työtehtävien muuttuessa rutiinitoimenpiteiksi. Tulevaisuuden joustavan ja kustannustehokkaan liikenteen mahdollistamiseksi kehitetään automaatioteknologiaa. Tällä hetkellä ollaan siirtymässä käytännön tutkimuksista kaupallisiin kokeiluihin.</p>	
Avainsanat	automaatio, automaation kustannukset, joukkoliikenteen kustannusrakenne, robottibussi, automaattinen bussi, itsestään ajava bussi

Author(s) Title	Johannes Laine Cost advantages of Automated Minibuses as a Public Transit
Number of Pages Date	56 pages October 2017
Degree	Bachelor of Business Administration
Degree Programme	Economics and Business Administration
Specialisation option	Marketing
Instructor(s)	Antti Hovi, Senior Lecturer
<p>The purpose of this study was to investigate cost reductions by automated autonomous minibuses. Another goal was to compare the costs of automated buses to the costs of the current buses used for public transport. The study was carried out for the Robusta project, which is a research consortium aimed at developing the remote control of automation. The project needed additional investigations on the costs of automated minibuses.</p> <p>The theoretical background for the study focused on the cost structure of public transport and robot busses, cost of automation and different international and domestic projects. Data was collected by interviewing Robusta experts. Other sources of information included statements from representatives of international companies, data from various research results, and reliable web sources. The data were compared among each other, thus confirming the accuracy of cost information. Subsequently, the costs of currently used minibuses were compared to the costs of automated minibuses. In addition to the cost structure comparison, cost calculations were also performed. As a summary, the estimated results for an example route were illustrated.</p> <p>The main result was that using automated buses is more cost-effective than the current diesel-operated minibuses in local public transport. Compared to diesel minibuses, total cost reduction is nearly 30 per cent. Personnel costs can be reduced by 80 per cent. These cost reductions can become effective within 4 to 5 years.</p> <p>The current cost structure of public transport is going to change in the future. Fuel and lubricant costs will become energy and battery costs. Automation will reduce maintenance costs. Sensor prices - currently regarded as the rate-limiting step for bus automation - will undergo a rapid decrease, reducing the overall costs of the buses.</p> <p>Personnel costs will remain unchanged at first but in the long run they will drop, as remote monitoring duties will become a routine operation. Automation technology is being developed to enable flexible and cost-effective future transport. At the moment, the field is undergoing a transition from practical studies to commercial trials.</p>	
Keywords	public transport cost structure, automated bus, driverless bus, autonomous shuttle bus, robot bus, autonomous costs

Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	Johdatus aiheeseen	1
1.2	Työn aihe, rajausta ja tavoitteet	2
1.3	Työn muoto ja tutkimusmenetelmän kuvaus	3
1.4	Työn rakenne ja toteutus	4
2	Katsaus automaattisiin julkisen liikenteen välineisiin nyt ja lähitulevaisuudessa	5
2.1	Automaation tasot	6
2.2	Miksi, missä ja miten automaattisia liikennetkaisuja kehitetään?	7
2.3	Joukkoliikenteen uudet asetelmat automaattisten autojen myötä	8
2.4	Tulevaisuuden liikkumisen uusi hinnoittelumalli	9
2.5	Viittomakielestä apua auton ja ihmisen välisessä kommunikaatiossa	10
2.6	Lainsäädäntö	10
2.7	Projektit suomessa	11
2.7.1	Sähkökäyttöiset bussit yleistyvät – kaikki hyöty irti niistä	12
2.8	Projektit ulkomailla	13
2.8.1	Yhdysvallat	13
2.8.2	Ranska	13
2.8.3	Tokio	14
2.8.4	Daimler	14
2.8.5	Muita pilottihankkeita	15
2.9	SWOT-analyysi	16
3	Kustannuslaskennan teoriaa	18
3.1	Kustannuslaskennan määrittely	18
3.2	Ajoneuvojen kustannusten laskeminen	18
3.2.1	Kiinteät-, muuttuvat-, sekä muut kustannukset	20
3.2.2	Ajoneuvojen kustannuslaskennan muuttuvat kustannukset	20
3.2.3	Ajoneuvojen kustannuslaskennan kiinteät kustannukset	20
3.3	Elinkaarikustannuslaskenta	22
4	Joukkoliikenteen kustannusrakenne	22
4.1	Bussiliikenteen yksikkökustannukset	23
4.1.1	Pienkaluston yksikkökustannukset vuonna 2016	24
4.2	Linja-autoliikenteen kustannustekijät, sekä kustannusindeksi	26

5	Robusta järjestelmän / robottibussin kustannusrakenne	27
5.1	Automaattisen bussiliikenteen yksikkökustannukset	28
5.1.1	Linjakilometriosaa	28
5.1.2	Linjatuntiosaa	30
5.1.3	Vuoropäiväosa	31
5.2	Automaation kustannukset ja sen hallintaan liittyvät menoerät	32
5.2.1	Akkujärjestelmä	32
5.2.2	Ajoneuvon sensorit ja muut osat	33
5.2.3	Etähallinta ja valvomo	35
5.2.4	Henkilöstö	37
5.2.5	Automaation lisääminen nykypäivän ajoneuvoon	38
5.2.6	Kustannuspainopisteen muutokset valvontapuolella	39
6	Robusta järjestelmän ja nykyisen mallin vertailua	40
6.1	Esimerkkivertailu pikkubussien välillä	41
6.1.1	Matkustajamäärät	43
6.1.2	Automaattibussin kustannukset esimerkireitin ympärillä	45
6.2	Yhteenveto reitin kustannuksista	49
7	Johtopäätökset	51
7.1	Johtopäätökset	51
7.2	Itsearviointia omasta työstä	53
7.3	Jatkotutkimukset	55
	Lähteet	57

1 Johdanto

1.1 Johdatus aiheeseen

Ei rattia, ei polkimia, ei ongelmia. Jatkuva teknologian kehittyminen luo uusia muutoksia tulevaisuuden liikenteeseen. Itsestään ajavat ajoneuvot saattavat joidenkin mielestä olla vasta kaukana edessäpäin, mutta todellisuudessa itsestään ajava liikenne on jo täällä. Maailmalla ja meillä Suomessakin on käynnissä useita hankkeita automatiikan ja liikenteen parissa. Monet suuret autoyhtiöt ja teknologiayritykset tekevät töitä ajoneuvoautomaation parissa ja kehittävät jatkuvasti uusia toimintatapoja pysyäkseen kilpailun kärjessä.

Nykyinen joukkoliikenne kärsii osaltaan tehottomuudesta ja korkeista kustannuksista. Ihmiset elävät tänä päivänä pidempään kuin ennen. Ikääntyville ja muille erityisryhmille tulee mahdollistaa liikkumisen vapaus jatkossakin. EU:n määrittelemät päästövähennystavoitteet tulisi saavuttaa, samalla kun pitäisi pystyä tarjoamaan parempaa julkisen liikenteen kokonaisuutta kustannustehokkaasti. Tähän edellä mainittuun vaikeaan yhtälöön on ainakin yksi ratkaisuvaihtoehto: itsestään ajavat pikkubussit.

Teknologia tuo mukanaan mahdollisuuden kehittää entistä ympäristöystävällisempiä vaihtoehtoja liikkumisen ratkaisujen toteuttamiseksi. Suurkaupunkien tulevaisuuden kannalta on tärkeää, että kehitetään kustannustehokkaita ja ympäristöystävällisiä tapoja keskustoissa liikkumiseen. Monissa kaupungeissa on nykyisellään käytössä ruuhkamaksut, ja keskustassa ajoneuvojen pysäköintiä on rajoitettu. Älyliikenne mahdollistaa turvallisemman, sujuvamman ja kustannustehokkaan tavan liikenteen toteuttamiseen.

Euroopan parlamentti hyväksyi vuonna 2015 päätöslauselman kestävästä kaupunkiliikenteestä. Erityisesti jäsenvaltioita kannustettiin laatimaan kestäviä kaupunkiliikennesuunnitelmia muun muassa vähäpäästöisillä liikennemuodoilla, sekä älykkäiden liikennejärjestelmien avulla. Kuitenkin liikuntarajoitteisten henkilöiden erityistarpeet huomiioon ottaen. (Euroopan parlamentti 2017.)

Liikenne- ja viestintäministeri Anne Bernerin mukaan liikenteessä odotetaan suuren muutoksen alkavan robotiikan ja automaation osalta 2020-luvun taitteessa. Vuodesta

2017 sen sijaan odotetaan kansainvälisesti robotiikan ja automaation läpimurtoa. Bernerin mukaan itsestään ajavat autot eivät kokonaan korvaa ihmistyötä, mutta mahdollistaa uudenlaisen työn tekemisen. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2017.)

Teknologian kehitys on muuttamassa perinteistä näkemystä liikenteestä ja siellä liikumisesta. Valtionneuvoston julkaisun mukaan itsestään ohjautuvat kulkuvälineet ovat osatekijänä muuttamassa liikenteen toimialaa. Liikenne muuttuu myös uusien liikennepalveluiden, dataohjautuvuuden, sekä kehittyvien viestintävälineiden seurauksena yhä enemmän tieto-ohjautuvaksi. Kun puhutaan tieto-ohjautuvuudesta, keskeiseksi termiksi nousee Internet of Things, eli esineiden internet. Esineiden internetillä tarkoitetaan internetin laajentumista laitteisiin ja koneisiin (Meola 2016). Yhtenäisessä toisiinsa kytköksissä olevassa liikennejärjestelmässä itsestään ajavat ajoneuvot parantavat osaltaan liikenneturvallisuutta ja lisäävät tuottavuutta, kun voidaan matka-aika hyödyntää muuhunkin kuin ajamiseen. (Aho & Lyly & Mero 2017, 8.)

Valtionneuvosto kuvailee julkaisussaan tulevaisuuden ajoneuvon olevan sähköinen, jaettu, itsestään ajava ja kytkeytynyt. Selvityshenkilöiden arvion mukaan 15 prosenttia autokannasta on itsestään ajavia vuoteen 2030 mennessä. (Aho ym. 2017, 22.)

Liikenne- ja viestintäministeriön selvityksessä todetaan, että Suomen on pakko radikaalisti uudistaa olemassa olevia rakenteita ja toimintamalleja sekä päätöksentekoa. Selvityksen mukaan tavoitteeksi tulee asettaa, että Suomen tulee olla globaalisti johtava älykkään liikenteen ekosysteemi. (Aho ym. 2017.)

1.2 Työn aihe, rajaus ja tavoitteet

Toimeksiantajana on Robusta hanke, jossa kehitetään uusia ratkaisuja automaatioliikenteeseen. Hankkeen tavoitteena on luoda etäohjausjärjestelmä, joka mahdollistaa automaattisten linja-autojen käyttöönoton osaksi kaupunkien liikennejärjestelmiä. Robustan tavoitteena on myös selvittää automaation liiketoimintapotentiaalia, sekä kehittää automaation ohjausjärjestelmää Suomen olosuhteita vastaavaksi. Robustan tutkimus- ja kehityskonsortiossa ovat mukana Nokia, Fleetonomy, Flou, Infotripla, Nodeon, Metropolia ammattikorkeakoulu, sekä Demos Helsinki. Projektin rahoittajana toimii Innovaatiorahoituskeskus Tekes.

Työni aihe voidaan tiivistää yhteen tutkimuskysymykseen: mitä kustannusetuja saavutetaan itsestään ohjautuvilla julkisen liikenteen busseilla? Selvittääkseni kustannusedut mahdollisimman realistisesti, olen päätenyt kustannusperusteiseen ajattelu- ja ratkaisumalliin tässä työssäni. Pää tavoitteenani on selvittää mitkä ovat julkisen liikenteen pikkubussien automaation kustannukset ja mahdolliset hyödyt verrattuna nykyisen joukkoliikenteen busseihin.

Teoriaosuus käsittelee kustannusrakenteen ja kustannuslaskennan teoriaa, sekä sitä mitä tulee ottaa huomioon näitä tarkastellessa. Tulen myös käsittelemään sitä, missä automaattisissa liikenne-ratkaisuissa, kuten busseissa ollaan tällä hetkellä ja mihin ollaan menossa. Tavoitteellisessa osiossa tulen selvittämään julkisen liikenteen kustannusrakennetta, jonka pohjalta on mahdollista selvittää automaattibussien mahdollisia kustannushyötyjä ja etuja kustannuslaskelmien, sekä -vertailujen perusteella.

Työn aikavälillisenä rajauksena on 5 - 7 vuotta, sillä esimerkiksi Helsingin seudun liikenne (HSL) kilpailuttaa linjansa seitsemäksi vuodeksi kerrallaan. Pikkubusseilla toteutetun lähiliikenteen sopimuskauden pituus on ollut myös viisi vuotta kerrallaan, joten tästä syystä viiden – seitsemän vuoden tarkasteluajanjakso on perusteltu.

1.3 Työn muoto ja tutkimusmenetelmän kuvaus

Itsestään ajaviin, automaatiopikkubusseihin liittyvä painettu aineisto on hyvinkin vähäistä. Tästä johtuen tietoa on kerätty haastatteluilla, eri puolilla tehtyjen projektien tuloksia analysoimalla ja verkossa julkaistuilla tiedoilla aiheesta. Olen pyrkinyt tekemään tutkimukset mahdollisimman käytännönläheisesti. Hyödyntämällä monipuolisesti eri tutkimusmenetelmiä on ollut mahdollista saavuttaa luotettavin lopputulos. Tässä tutkimuksessa hyödynnetään myös Robusta-projektista saamiani aineistoja. Suomeksi löytyi jonkin verran tietoa aihealueen ympäriltä, mutta ehdottomasti suurin osa hakutermeistä ja materiaaleista on englanniksi. Keskeisimmät hakutermit olivat autonomous shuttle bus, driverless, automation, remotely operated bus technology, cost accounting, cost structure, sekä näiden sanojen eri yhdistelmät etsittävän tiedon mukaan. Haastattelut toteutettiin tapauksesta riippuen joko sähköpostin välityksellä tai Skype/puhelinhaastatteluilla. Tutkimusongelmaan saatava vastaus luvussa 6 pohjustetaan kustannusrakennemuutosten tarkastelulla, nykyisen ja tulevaisuuden bussiliikenteen kustannusten vertailuilla, sekä yksittäisen kustannustekijöiden vaikutuksella kokonaiskustannuksiin. Nämä tiedot nivotetaan tapaustutkimuksena yksittäisen bussireitin

ympärille. Olen pyrkinyt huolelliseen operointikustannusten tarkasteluun kyseisellä reitillä.

Työni tähtää vahvasti tulevaisuuteen. Siksi tutkimuksessa hyödynnetäänkin myös enustavaa näkökantaa. Tämän avulla nykypäivän tuloksista ja kokeiluista saatuja tietoja käytetään pohjana sille, miten robottibussien kustannukset osana tulevaisuuden liikennekäyttäytymistä näkyvät.

1.4 Työn rakenne ja toteutus

Itsestään ajavat ajoneuvot ovat aihealueena sen verran uusi, että tarkoituksiini sopivaa painettua kirjallisuutta ei ollut paljoa tarjolla. Työ toteutettiin tutustumalla aihetta käsitteleviin lähteisiin internetistä ja sähköisistä tietokannoista. Eri julkaisujen ja artikkelien lisäksi hyödynsin jo aiheen ympärillä tehtyjä projekteja, joista voisi olla hyötyä muodostaessa käsitystä mitä maailmalla tapahtuu bussi- ja automaatiopuolella. Työn toteutuksen käynnistämiseksi oli mukana myös Robusta-hanke, joidenka kokouksissa istuessa minulla oli mahdollisuus ammentaa ideoita ja sopivia toteutustapoja.

Kirjallisen työn rakenne koostuu kokonaisuudessaan seitsemästä eri luvusta. Taustatietojen ja alakysymysten avulla luodaan pohja, joidenka ansiosta luvussa 1.2. esitettyn tutkimusongelmaan saadaan vastaus luvussa 6. Ensimmäinen luku on johdanto, jossa esitellään tämän työn aihepiiri, taustatekijät, hanke, jolle tämä työ tehdään, sekä työn tavoitteet, raja- ja tutkimusongelma.

Luvussa 2 tehdään katsaus automaattisen joukkoliikenteen välineisiin nykyhetkessä ja tulevaisuudessa. Aloitan tutustuttamalla lukijan automaation eri tasojen merkityksiin. Vastaan kysymyksiin miksi, missä ja miten automaattisia liikenneratkaisuja kehitetään. Käyn läpi lainsäädännöllisiä asioita, jotka vaikuttavat automaattibusseilla operointiin ja miten lainsäädännön vaikutus näkyy meillä Suomessa ja ulkomailla. Esittelen keskeisimmät pikkubussiprojektit ympäri maailman, sekä kerron mitä Suomessa ollaan jo tehty. Luvun 2 loppupuolella SWOT-analyysi antaa yleiskatsauksen itsestään ajavien autojen vahvuuksista, heikkouksista, mahdollisuuksista, sekä uhista tulevaisuuden kaupunkiympäristössä.

Luvussa 3 käsitellään kustannuslaskentaa teoriapohjalla. Kustannuslaskennan määrittelemisen jälkeen perehdytään ajoneuvojen kustannusten laskemiseen, kiinteisiin ja

muuttuviin kustannuksiin, elinkaarikustannuslaskentaan, sekä siihen mitä näissä kaikissa pitää ottaa huomioon kustannuslaskelmia tehdessä.

Luvussa 4 siirrytään yleisestä kustannuslaskennan teoriasta joukkoliikenteen kustannusrakenteeseen. Esittelen bussiliikenteen yksikkökustannukset, sekä havainnollistan pikkubussien, eli pienkaluston yksikkökustannukset vuodelta 2016. Luvussa 4 käsitellään myös linja-autoliikenteen kustannustekijöitä, sekä kustannusindeksiä.

Luvussa 5 käsitellään automaattisen bussiliikenteen yksikkökustannuksia, sekä yleistä joukkoliikenteen kustannusrakennetta automaatio huomioiden. Selvennän myös luvussa 5 automaation vaikutuksia kustannusrakenteeseen, sekä automaation tuomiin kustannuksiin ja hallintaan liittyviin menoeriin.

Luvussa 6 vertaan nykyistä bussiliikennettä automaattisesti toteutettuun vaihtoehtoon nähden. Tämän luvun suurin anti tulee olemaan esimerkkireitin pohjalle tehty vertailu eri pikkubussityyppien kustannuksista toisiinsa nähden. Tämän luvun tarkoituksena on havainnollistaa eri pikkubussityyppien kustannusosien vaikutus kokonaiskustannusten muodostumiseen. Tätä varten käytän havainnollistamisen tukena erilaisia taulukoita ja kaavioita mahdollisimman helposti esitettävässä muodossa.

Luvussa 7 esitellään tutkimuksen johtopäätökset, jossa vastaan tutkimuskysymykseen, sekä esittelen tämän työn pohjalta tekemäni tärkeimmät johtopäätökset. Tämän lisäksi luvussa 7 pohditaan ehdotuksia jatkotutkimuksille, sekä tarkastellaan lyhyesti tätä työtä kriittisestä näkökulmasta.

2 Katsaus automaattisiin julkisen liikenteen välineisiin nyt ja lähitulevaisuudessa

Tässä luvussa käsittelen, missä mennään automaattisissa joukkoliikenneratkaisuissa nyt ja lähitulevaisuudessa. Kuvaan automaation eri tasoja, joilla määritellään ajoneuvon itsenäisyys. Kerron miksi automaattisia pikkubusseja kehitetään ja minkälaisia projekteja on käynnissä maailmalla ja meillä Suomessa. Selvennän lainsäädännöllisiä osia alueita Suomessa, sekä esittelen eri maiden lain tulkintoja itsestään ajavien autojen osalta. SWOT-analyysi tulee antamaan hyvän yleiskäsityksen automaation vahvuuksista, heikkouksista, mahdollisuuksista, sekä uhista.

2.1 Automaation tasot

Tiellä liikkuville ajoneuvoille on määritelty eri asteisia automaatiotasoja, joiden tarkoituksena on havainnollistaa ihmisille, kuinka itsenäinen ajoneuvo on. Laajasti käytössä oleva automaatiotasojen kuvaava asteikko on SAE International luokitus (Trafi tietokortti 2015, 3). Tässä asteikossa automaatio on jaoteltu 6 eri tasoon nollasta viiteen.

0 tasolla ei ole automaatiota, ajoneuvo on täysin ihmisestä riippuvainen. Tasolla 1 on ajoneuvon kuljettajaa tukevia apuvälineitä, kuten automaattinen kaistavahti tai pysäköintiavusta. Tasolla 2 on kehittyneemmät kuljettajan apuvälineet, kuten täysin automaattinen pysäköintiavustin, sekä nopeuden mukaan mukautuva vakionopeudensäädin yhdistettynä automaattiseen kaistalla pysymiseen. Tasolla 3 on määritellyissä tilanteissa toimiva ajoneuvon itsestään ohjaus, kuten moottoritiellä. Tasolla 4 tarkoittaa korkeaa automaatiota, jossa järjestelmä hoitaa kaiken, mutta mahdollistaa ihmisen ottavan ajoneuvon hallintaa tarvittaessa. Taso 5 on täysin automaattinen, jossa on kaiken kattava automaatiojärjestelmä. (Trafi tietokortti 2015, 3.)

Alla olevasta Trafin tekemästä SAE International automaation eri tasot – taulukosta saa selkeän kuvan eri tasojen vaikutuksesta ajoneuvon automaation kattavuuteen. Taulukossa 1 on punaisella ympyröity kohta, joka kuvastaa lakipistettä, jossa vastuu ajamisesta ja ympäristöstä siirtyy ajoneuvolle itsessään kuljettajan jäädessä taustalle varmistamaan automaatiota.

Taulukko 1. SAE International automaatiotasot (Trafi tietokortti 2015).

Taso	Nimi	Määritelmä	Ohjaus, kiihdyttäminen, jarrutus	Ympäristön monitorointi	Dynaamisen ajamisen vara-suorittaja	Automaation kattavuus
Ihminen monitoroi ajoympäristöä			Ihminen	Ihminen	Ihminen	
0	Ei automaatiota	Ihminen suorittaa kaikki dynaamisen ajotehtävän osa-alueet, vaikka ajamista tuetaan varoituksilla tai ajamiseen puuttuvilla järjestelmissä.				–
1	Kuljettajan tuki	Ajotilannekohtaisia kuljettajan tukijärjestelmiä, jotka liittyvät joko ohjaamiseen tai kiihdyttämiseen/jarruttamiseen hyödyntämällä tietoa ajoympäristön tilasta. Ihminen vastaa kaikista muista dynaamiseen ajotehtävän osa-alueista.	Ihminen ja järjestelmä	Ihminen	Ihminen	Joitakin ajotilanteita
2	Osittainen automaatio	Yksi tai useampi ajotilannekohtainen kuljettajan tukijärjestelmä, joka kattaa sekä ohjaamisen että kiihdyttämisen/jarruttamisen hyödyntämällä tietoa ajoympäristön tilasta. Ihminen vastaa kaikista muista dynaamiseen ajotehtävän osa-alueista.	Järjestelmä	Ihminen	Ihminen	Joitakin ajotilanteita
Järjestelmä monitoroi ajoympäristöä			Järjestelmä	Järjestelmä	Ihminen	
3	Ehdollinen automaatio	Ajotilannekohtainen automaattiajojärjestelmä kattaa kaikki dynaamisen ajotehtävän osa-alueet, kuten pituus- ja poikittaissuuntaisen kontrolloinnin. Ihminen täytyy kuitenkin ottaa auto hallintaansa, kun järjestelmä näin pyytää.	Järjestelmä	Järjestelmä	Ihminen	Joitakin ajotilanteita
4	Korkea automaatio	Ajotilannekohtainen automaattiajojärjestelmä kattaa kaikki dynaamisen ajotehtävän osa-alueet myös silloin, kun ihminen ei ota autoa hallintaansa, vaikka järjestelmä näin pyytää. Ellei kuljettaja ota ajoneuvoa haltuunsa, järjestelmä ohjaa auton hallitusti tien sivuun ja pysäyttää sen.	Järjestelmä	Järjestelmä	Järjestelmä	Suurin osa ajotilanteista
5	Täysi automaatio	Kaiken kattava automaattiajojärjestelmä, joka kattaa kaikki dynaamisen ajotehtävän osa-alueet kaikissa tie- ja ympäristöolosuhteissa.	Järjestelmä	Järjestelmä	Järjestelmä	Kaikki ajotilanteet

2.2 Miksi, missä ja miten automaattisia liikenne- ja ratkaisuja kehitetään?

Itsestään ajavat ajoneuvot tulevat olemaan ratkaisevassa asemassa, kun mietitään tulevaisuuden liikennekäyttäytymistä. Moni ihminen käyttää julkisia kulkuneuvoja työmatkaansa varten, mutta pääkaupunkiseudulla lähes puolet ihmisistä käyttävät mieluummin omaa henkilöautoa työmatkaansa (HSL 2016). Syynä tähän on joukkoliikenteen ennalta määrätyt reitit ja sitä myötä syntyvä joustamattomuus verrattuna yksityis-autoiluun. Toinen yleinen syy olla käyttämättä joukkoliikennettä työmatkailussa on matka-aika. Joukkoliikenne ei tällä hetkellä pysty kilpailemaan tehokkaasti matkustusajasta yksityisten henkilöautojen kanssa. Tilastojen mukaan suomalaisten yli kahden kilometrin matkoista yli puolet tehdään henkilöautolla (HSL 2016). Joukkoliikenteen käyttäjistä lähes 60 prosenttia on bussimatkustajia (Linja-autoliitto 2017).

Joukkoliikenteen yksi suurimmista haasteista on ensimmäisen/viimeisen mailin ongelma. Tutkimusten mukaan useimmat ihmiset Amerikassa eivät halua kävellä 400 metriä enempää julkisen liikenteen pysäkille (Gibson 2016). Ongelma syntyy, kun tarjolla ei ole pysäkkiä tai asemaa tarpeeksi lähellä. Toki jokainen määrittelee itselleen siedettävän välimatkan bussipysäkin ja oman sijaintinsa välillä. *Last-mile* –ongelma voidaan ratkaista esimerkiksi kehittämällä runkolinjojen ympärille automaattisten minibussien verkko, jolla täydennettäisiin kokonaisuutta ja saataisiin lyhennettyä kokonaismatkus-

tusaikaa. Sen avulla on niin ikään mahdollista tarjota pysäkkejä lähempänä jokaisen kotia.

Volvon turvallisuustekniikan johtajan Erik Coelinghin mukaan automaattiset autot tulevat kehittämään ja parantamaan elämäämme huomattavasti. ”Meillä on todella iso potentiaali tehdä liikenteestä turvallisempaa tulevaisuudessa, kuin mitä se on tänä päivänä. Se on suurimmista syistä miksi Volvo lähti mukaan tälle osa-alueelle. ” - Erik Coelingh. (Thompson 2016.)

On tehty arvioita, että jos 90 prosenttia Amerikan teillä kulkevista autoista olisi itsestään ajavia, niin onnettomuuksien määrä laskisi vuosittaisesta 6 miljoonasta 1,3 miljoonaan, sekä liikennekuolemien määrä tippuisi 33 tuhannesta reiluun 11 tuhanteen (Fagnant & Kockelman 2015).

Automaattiset liikenneratkaisut tulevat myös vähentämään oman ajoneuvon omistamista, sillä liikkumisen joustavuus tulee kasvamaan. Tämä taas puolestaan vähentää ruuhkia, sekä vähentää ajoneuvoista johtuvia päästöjä. (Litman 2017.)

2.3 Joukkoliikenteen uudet asetelmat automaattisten autojen myötä

Automaattiset ajoneuvot palvelevat parhaiten joukkoliikenneverkostoa silloin kun ne liitetään osaksi jo olevaa joukkoliikenneverkkoa (UITP 2017, 5). Tätä automaattisten ajoneuvojen liittämistä olemassa olevaan joukkoliikenneverkkoon kutsutaan sulauttamisasetelmaksi. Itsestään ajavien autojen ja minibussien verkoston integrointi osaksi olemassa olevaa joukkoliikennettä luo joustavamman, vakaamman, sekä kestävämmän pohjan toiminnalle. UITP:n raportin mukaan sulauttamisasetelma tulee kasvattamaan merkittävästi joukkoliikenteen saatavuutta. Myös liikkumisen joustavuus tulee kasvamaan vahvasti ihmisillä, joilla ei ole omaa autoa käytössään. Kokonaisuudessaan joukkoliikenteen tehokkuusaste nousee, sillä isot ja pienet ajoneuvot muodostavat yhdessä täydellisen liikennekokonaisuuden. Tehokas ja yhdessä toimiva liikennejärjestelmä alentaa huomattavasti liikkumisen kustannuksia per kilometri, niin palvelun tuottajalla, kuin loppukäyttäjällä. (UITP 2017, 5.)

Kilpailuasetelma on nimensä mukaisesti kahden eri toiminnon välistä kamppailua. Automaattisilla ajoneuvoilla kilpaillessa perinteisen joukkoliikenteen kanssa, ei saada niin tehokasta mallia, kuin integroinnilla. UITP:n mukaan kilpailuasetelma kasvattaa jousta-

vuotta ihmisille, jotka eivät omista omaa autoa. Automaattisten autojen kilpailu perinteisen joukkoliikenteen kanssa kasvattaa kuitenkin samalla ajoneuvojen kokonaismäärää liikenteessä, mikä lisää ruuhkaa entisestään. (UITP 2017, 5.)

ZipCar-yrityksen perustajan Robin Chasen mukaan ei pelkkä ajoneuvojen automaatio riitä. Poistamalla kuljettajan, mutta pitämällä kaiken muun ennallaan, on siitä seurauksena katastrofi. (University of Pennsylvania 2017.) Robin Chase tarkoittaa, ettei pelkkä ajoneuvon kuskittomuus tuo merkittäviä etuja, vaan täytyy olla jokin selkeä ongelma, jonka ajoneuvon automaatio ratkaisee.

Kilpailuasetelma ei palvele joukkoliikenteen kokonaiskuvaa, sillä se tulee lisäämään yleistä liikkumisen tehottomuutta, kun automaattiset ajoneuvot korvaavat busseja ja junia. Myös isojen joukkoliikennevälineiden, kuten junien ja bussien käyttöaste vähenee. Käyttöasteen vähentyminen ja liikkumisen tehottomuus lisää kustannuksia etenkin pitkällä aikavälillä.

2.4 Tulevaisuuden liikkumisen uusi hinnoittelumalli

Monet raportit, ennusteet ja merkit viittaavat siihen, että tulevaisuuden liikkuminen ostetaan palveluna. MaaS –järjestelmä eli Mobility as a Service –järjestelmä tarjoaa mahdollisuuden kattavaan liikkumisen palveluun vapailla markkinoilla. Esimerkiksi Osuuspankki on lanseerannut autovuokraamisen minuuttitaksalla ja suomalainen MaaS Global –yritys tarjoaa kuukausimaksua vastaan julkisen liikenteen, taksien, vuokra-autojen ja muiden käytön (Riikonen 2017).

Edellä luetellut esimerkit ovat pintaraapaisua siihen, miten tulevaisuudessa voidaan liikkumISRatkaisuja tarjota. Diplomityönsä automaattisista pikkubusseista tehnyt Riku Huhta oli mukana asiantuntijoille järjestetyssä työpajassa, jossa arvioitiin MaaS-mallin toimivuutta. Asiantuntijoiden mielestä MaaS antaisi automaattisten bussien tarjoajille ketterän väylän markkinoille ja toimisi parhaiten juuri uuden teknologian alustana. Esi-tettiin myös arvioita joiden mukaan matkustajatiedon keräys ja hyödyntäminen takaisi nykyistä paremman palvelutason. Haasteina todettiin useiden eri palasien/vaiheiden yhteensovittaminen siten, että MaaS-opeioijan olisi mahdollista hallita kokonaisuutta tuloksellisesti. Myös automaatiotekniikan tuominen markkinoille ja sen markkina-aseman vahvistaminen todettiin riskitekijäksi johtuen korkeasta riskistä suhteessa onnistumiseen. (Huhta 2017.) UITP:n tietoihin viitaten ja niiden pohjalta tehtyjen arvioiden

perusteella MaaS –järjestelmää parhaiten tukeva joukkoliikenneasetelma on sulauttamisasetelma.

2.5 Viittomakielestä apua auton ja ihmisen välisessä kommunikaatiossa

Ruuhkaisen tien ylittäminen tehdään helpommaksi, kun itsestään ajavia autoja varten on kehitteillä konsepti, joka opettaa auton tunnistamaan jalankulkijoiden kädenliikkeitä. Lontoolaiset tutkijat haluavat mahdollistaa tien ylittämisen turvallisesti, vaikka et ole suojaatiella ja haluat päästä tien yli. (Peters 2017.)

Lontoolaisten tutkijoiden mielestä käytetään liikaa aikaa ja huomiota siihen, minkälaisia ominaisuuksia konepellin alta löytyy ja millainen on matkustajakokemus. Sen sijaan vähemmälle huomiolle on jäänyt se, kuinka ihmiset automaattisen auton ulkopuolella kokevat kohtaamisen ajoneuvon kanssa. (Peters 2017.)

Viittomakielinen kommunikointimahdollisuus automaattisen ajoneuvon kanssa lisää auton ja ihmisen välistä kommunikaatiota ja antaa jalankulkijoille turvallisuuden tunnetta, kun heillä on mahdollisuus vaikuttaa paremmin itsestään liikkuvan ajoneuvon käyttäytymiseen.

2.6 Lainsäädäntö

Yhtenä automaattisten ajoneuvojen kehityksen hidasteena on monissa maissa lainsäädäntö. Suomi on kuitenkin harvoja maita, joissa on mahdollista testata itsestään ajavia ajoneuvoja liikenteessä. Suomen tieliikennelainsäädännön mukaan liikkuvalla ajoneuvolla tulee olla kuljettaja, mutta hänen ei tarvitse olla fyysisesti ratin takana. Kuljettajan on joka hetki kuitenkin pystyttävä hallitsemaan ajoneuvonsa. Kuljettajaksi voidaan tulkita henkilö, joka ei matkusta autossa, vaan valvoo ajoneuvoa etänä ohjauskeskuksesta. (Trafiteietokortti 2015, 4.)

Tarkennusta suomalaisen lainsäädännön koukeroihin haettiin haastattelemalla Eetu Pilli-Sihvolaa, joka toimii älyliikenteen yksikönpäällikkönä Trafilla. Hänen mukaansa lainsäädännöllisesti ajoneuvon kuljettaja voi olla myös ajoneuvon ulkopuolella, eikä lainsäädäntö myöskään ota kantaa siihen, etteikö yksi henkilö voisi olla samanaikaisesti useamman ajoneuvon kuljettaja (Pilli-Sihvola 2017). Näiltä osin etävalvomosta toteutettava useamman ajoneuvoryppään ohjaaminen on mahdollista Suomessa.

Pilli-Sihvola (2017) valaisi sitä, että tarvitseeko kuljettajan nähdä koko ajan ulos ohjattavien ajoneuvojen ikkunasta. Tämä kysymys oli hyvin oleellinen, sillä jos kuljettajan tarvitsee nähdä koko ajan ulos ohjattavien autojen ikkunasta, niin se vaikeuttaisi valvomon suunnittelua. Siinä tapauksessa näyttöjä tarvittaisiin todella monta, eikä pystytäisi tekemään niin toimivaa valvomokokonaisuutta, joka palvelisi etäohjaajaa parhaiten. Pilli-Sihvolan mukaan laki ei ota siihen kantaa, että tarvitseeko etävalvomon valvojan (eli lain edessä kuljettajan) nähdä koko ajan ulos, vaan lain muotoilut määräävät enemmänkin kuljettamaan ajoneuvoa turvallisesti ja lakien, sekä säädösten mukaisesti. Eli suoraa rajoitusta sille, että ajoneuvoa ohjattaisiin pelkästään antureiden antamilla tiedoilla, ei lainsäädännössä ole. Tulee kuitenkin huomioida, että kuljettajan tulee kaikissa liikennetilanteissa pystyä hallitsemaan ajoneuvonsa. (Pilli-Sihvola 2017.)

Helsingin Sanomat uutisoi Saksan parlamentin hyväksyneen toukokuussa 2017 lain, joka sallii itsestään ajavien autojen käyttämisen Saksan autoteillä. Erona Suomen lainsäädäntöön on se, että kuljettajan täytyy istua ratin takana valmiina ottamaan auto hallintaansa. (Lassila 2017.)

Uudessa-Seelannissa on myöskin mahdollista testata liikenteen seassa etäohjattavia autoja. Laki sallii testaustoiminnan yleisillä teillä niin puoli- kuin täysiautomaation ajoneuvoille. (Ministry of Transport 2016.)

2.7 Projektit suomessa

Merkittävin projekti automaattisten bussien kannalta Suomessa on SOHJOA-niminen robottibussihanke. SOHJOA (Suomen Olosuhteet Huomioiva Joukkoliikenteen Oma-toiminen Ajoneuvo) on osa 6Aika-kaupunkien Euroopan aluekehitysrahaston tukemaa hankekokonaisuutta. Sohjoa robottibussi teki pilottikokeiluja vuonna 2016 Tampereella, Espoon Otaniemessä, sekä Helsingin Hernesaassa. Vuonna 2017 SOHJOA on ajanut myös Tampereella ja siirtyi kesällä 2017 ajamaan Helsinkiin. (Sohjoa 2017.)

Päätavoite on mahdollistaa suomalaisille yrityksille kehittää uusia tuote- ja palveluideoita, tarjoten automaattista pikkubussia alustana hankkeille. Ensimmäisen kerran Suomessa testattiin robottibusseja kesällä 2015 Vantaan Kivistössä järjestetyillä asuntopöytäsohjoilla. (ForumVirium 2016.) Autona toimivat EasyMile EZ10 pikkubussit. Sohjoa

hankkeen tarkoitus on toimia yleisenä ponnahduslautana, joka kehittää toimialaa eteenpäin.

Suomi on myös valtion tasolla kunnostautunut tutkimaan automaattisia liikennneratkaisuja. Kokonaan Suomen valtion omistama teknologian tutkimuskeskus VTT Oy sai ensimmäisenä Suomessa robottiautolle kokeiluluvan tieliikenteeseen. Kyseessä on kaksi Citroen henkilöautoa nimeltään Marilyn ja Martti, jotka ovat muutettu itsestään ajaviksi automaatioteknologian avulla. Tällä hetkellä autot tarvitsevat kaistaviivat tai tien reunan näkyvillä olo, jotta ne pystyvät seuraamaan ennalta määrättyä reittiä ilman, että törmäävät esteisiin tai muihin haittatekijöihin. Vuonna 2020 mennessä Marilyn ja Martti kykenevät liikkumaan lumipeitteisillä teillä. (VTT 2017.)

2.7.1 Sähkökäyttöiset bussit yleistyvät – kaikki hyöty irti niistä

Sähköllä toimivien bussien määrää ollaan lisäämässä tulevaisuudessa paljon pääkaupunkiseudulla. HSL tulee kasvattamaan pääkaupunkiseudun liikenteessä sähköbussien määrää tulevaisuudessa reilusti. Tavoitteena on vuoteen 2025 mennessä muuttaa noin kolmannes, eli 400 bussia sähköisiksi. (Saarinen 2017.)

HSL on rakentamassa latauspisteet Helsingin Rautatientorille, valittujen linjojen päätepysäkeille ja Kamppiin. Esimerkiksi Rautatientorin latausaseman hinta on 2,6 miljoonaa, johtuen tekniikan sijoittamisesta maan alle. Tavallinen latausasema maksaa noin 350 tuhatta. (Salomaa 2017.)

Linkker-yhtiö toimittaa 12 sähköbussia vuoden 2017 loppuun mennessä Helsingin seudun liikenteelle leasing-sopimuksella (uusiteknologia 2017). Linkkerin toimitusjohtajan Kimmo Erkkilän mukaan tyypillisellä puolen tunnin kaupunkireitillä riittää 2-3 minuutin pikalataus (Linkker 2017).

Näiden eri hankkeiden valossa voidaan todeta, että sähkökäyttöisyys tulee lisääntymään joukkoliikenteen käyttövoimana lähivuosina. Tämä edellyttää latausasemien rakentamista ympäri pääkaupunkiseutua päätepysäkeille ja eri solmupisteisiin. Latausasemien sijainnista riippuen olisi järkevää ja ennen kaikkea kustannustehokasta, jos sähkökäyttöiset automaattibussit voisivat tietyin järjestelyin myös hyödyntää kyseistä latausasemaverkostoa omassa *last-mile* liikennöinnissään.

2.8 Projektit ulkomailla

CB Insightsin mukaan yli 44 yritystä työskentelee automaattisten ajoneuvojen parissa. Listaan kuuluvat suurimmat autovalmistajat, kuten Audi, BMW, Volvo, Ford, VW, MB, sekä Tesla. Listalla on myös monia teknologiayrityksiä, jotka tarjoavat edistyksellistä teknologiaa tulevaisuuden autoihin tai heillä on omia automaatioprojekteja meneillään. Esimerkkeinä voisin nostaa Apple, Google, Microsoft, Uber, Bosch, Nvidia, sekä Samsung. (CB Insights 2017.) Esittelen seuraavaksi muutaman kansainvälisen yrityksen, jotka työskentelevät automaattisten bussien kanssa sekä heidän ajoneuvojensa pääpiirteet.

2.8.1 Yhdysvallat

Olli on Local Motors –yhtiön Yhdysvalloissa kehitetty elektroninen ja automaattinen pikkubussi. Olli on valmistettu pääosin 3D teknologialla. Se pystyy kuljettamaan maksimissaan 12 henkilöä kerrallaan. Ajoaika on 58 kilometriä, nykyisen huippunopeuden ollessa 20 kilometriä tunnissa. Ajoneuvo painaa 1500 kiloa ja se pystyy kantamaan kuormaa 1000 kiloa. (Hill 2016.) Akkujen latausaika on 4,5 tuntia, joten lataaminen olisi hyvä ajoittaa yöaikaan tai tuoda korvaavia autoja reitille liikennöimään siksi aikaa (Molitch-Hou 2016). Autossa on käytössä IBM:n kehittämä Watson Internet of Things (IoT) –järjestelmä, joka analysoi ja oppii keräämästään datasta (Local Motors 2016; IBM 2017). Ajoneuvo on suunniteltu toimimaan tulevaisuudessa alle 56 kilometrin tuntinopeuksissa. Sen olisi tarkoitus tulla tuotantoon kesällä 2018. (Woyke 2017.)

2.8.2 Ranska

NAVYA on 2015 perustettu yritys, jonka pääkonttori sijaitsee Ranskassa. Sillä on yli 35 automaattista pikkubussia ympäri maailman, kuten Australiassa, Sveitsissä, Yhdysvalloissa, sekä Japanissa (Blanco 2017).

Navya Arma on ensimmäinen automaattinen pikkubussi, joka toimii lentokentillä Christchurchissa, Uudessa-Seelannissa ja Heathrow'ssa, Lontoossa (Airside Int 2017). Se on suunniteltu kulkemaan väliä, jotka ovat liian lyhyitä kuljettavaksi autolla, mutta liian pitkiä kävellen liikuttavaksi.

Pikkubussi pystyy kuljettamaan 15 henkilöä ja ajoneuvon huippunopeus on 45 kilometriä tunnissa. Todellinen ajonopeus on kuitenkin rajattu 25 kilometriin tunnissa. ARMAN akusto on suunniteltu kestäämään 8-12 tuntia ja täyteen lataaminen vie 5 tuntia. Se on täysin itsenäinen kaikista ulkoisista tekijöistä. Ajoneuvo on varustettu sensoreilla, jotka 3D skannaavat ympäristöä. LiDAR-sensorit yhdistettynä GPS vastaanottimeen, sekä matkanmittaukseen kehitetyillä sensoreilla, antavat tarkan kokonaiskuvan ympäristöstä. Navyan viimeisessä mallissa automaattiset ovet ovat yhdistetty ääni- sekä video-ohjeistukseen, joiden tarkoituksena on auttaa matkustajia sisään ja ulos, ilman fyysistä opastusta. (Sadler 2017.)

2.8.3 Tokio

Softbank kabushikigaisha on suuri japanilainen yritys, joka tarjoaa internetpalveluita (Softbank Group Corp. 2017). Yritys on lähtenyt tekemään myös automaattisia joukko-liikennratkaisuja ja on sitä varten perustanut SB Drive -yhtiön, jossa ovat mukana myös Advanced Smart Mobility, sekä Yahoo! JAPAN. (SB Drive lehdistötiedote 2017.)

Työtä varten haastateltiin SB Driven toimitusjohtajaa Yuki Sajia, jolta saatiin lisätietoa yrityksestä. SB Drive ei ole auton alkuperäinen laitevalmistaja, vaan tarjoaa älykkäitä teknologiaratkaisuja autoihin. Asiakas valitsee ajoneuvon, johon haluaa SB Driven tuottaman automaatiojärjestelmän liitettävän. Yuki kertoi pilottihankkeesta, jossa he liittivät tavalliseen polttomoottorikäyttöiseen bussiin oman järjestelmänsä. Bussin oma huippunopeus on yli 100 kilometriä tunnissa, mutta automaattitilassa huippunopeus on rajoitettu 40 kilometriin tunnissa. Yukin mukaan SB Drive suunnittelee yhteistyötä eri alkuperäisten laitevalmistajien kanssa ja aloittavansa massatuotannon vuonna 2021. (Yuki 2017.)

2.8.4 Daimler

Tähän asti työssä käsitellyt esimerkit automaattisista busseista ovat olleet pikkubusseja. Mercedes-Benzin omistava Daimler on kehittänyt itsestään ajavan 12 metriä pitkän semi-automaattisen bussin (Barber 2016). Bussin teknologia perustuu yhtiön aikaisemmin kehittämään itsestään liikkuvaan Actros kuorma-autoon. CityPilot -järjestelmä tunnistaa mm. liikennevalot ja kommunikoi niiden kanssa, tunnistaa esteet, sekä jalankulkijat ja jarruttaa automaattisesti. Järjestelmä myös osaa pysähtyä automaattisesti pysäkeille, sekä ajoneuvolla on mahdollista ajaa tunnelin läpi. 20 kilometriä pitkä reitti

kulkee Amsterdamin Schipholin lentokentän ja Haarlemin kaupungin väliä. Bussin huippunopeus on 70 kilometriä tunnissa. Kuljettajan ei tarvitse tavallisesti tarvita koskea kaasuun tai jarruun, eikä ohjata. Liikennesääntöjen mukaan kuskia tarvitaan vain ohjaamaan silloin kun on vastaantulevaa liikennettä. Kuitenkin kuljettaja istuu autossa kaiken varalta. (Daimler 2016.)

2.8.5 Muita pilottihankkeita

Kreikan pääkaupungissa Trikalassa tehtiin pilottihanke 11/2015 – 02/2016. Heillä oli käytössään kuusi CityMobil2 –pikkubussia, johon mahtuu 10-12 henkilöä per bussi. Automaattisten bussien SAE taso oli 4. Autojen reitti kulki keskustassa muun liikenteen seassa ikään kuin soikion muotoista reittiä pitkin. Reitin kokonaispituus oli 2,5 kilometriä ja pysäkkejä oli kuusi. Huomattava oli se, että robottibussien ajolinja oli varattu vain niille, sillä muilla ajoneuvoilla kyseisellä linjalla ajo oli kielletty. Bussit kulkivat ilman ihmiskuljettajaa. Liikennevalojen hallintajärjestelmän, sekä radioyhteyden avulla pidettiin huolta, ettei sattunut vahinkoja jalankulkijoiden tai muun liikenteen kanssa. Tässä hankkeessa ajoneuvoilla ei ollut mahdollisuutta vaihtaa kaistaa tai kiertää poikkeuksellisia esteitä. Automaattibussien rypästä hallittiin ja monitoroitiin valvomosta käsin. (Roemer ym. 2017.)

National Center for Transit Researchin (jatkossa NCTR 2016) mukaan Sveitsissä Lausannassa sijaitsevassa The Swiss Federal Institute of Technology (EPFL) -kampuksessa tehtiin automaattisten pikkubussien hanke huhtikuusta elokuuhun vuonna 2015. Kampus-alue on 55 hehtaarin kokoinen ja siellä on noin 16 tuhatta ihmistä (NCTR 2016). Hanke toteutettiin kuudella CityMobil2 EZ10 –pikkubussilla ja sillä oli tarkoitus ratkaista *last-mile* ongelma. Bussien maksiminopeus oli 15 km/h. Automaattisten bussien SAE taso oli 4. Kyseiseen bussimalliin mahtuu 9 matkustajaa, joidenka lisäksi autossa oli aina yksi vapaaehtoinen opiskelija vastaamassa kysymyksiin tai keräämässä tietoa käyttäjäkokemuksesta. Bussit ajoivat päivittäin aamusta-iltaan 2,5 kuukautta. Bussien reitti oli 1,5 kilometriä pitkä ja siinä oli määritelty kuusi pysähtymispaikkaa eri puolilla kampusaluetta. (NCTR 2016, 4.)

Reitti kulki kampuksen yksityistietä ja reitin varrelle asennettiin liikennevaloja, sekä merkittiin tiehen automaattibussien ajolinjat, jotta jalankulkijat ja muut tiellä liikkujat osasivat varoa. Bussirypästä operoi Sveitsiläinen BestMile –yritys (NCTR 2016, 5). Hanke oli kaiken kaikkiaan onnistunut, mutta muutama takapakkikin tuli matkassa.

Lämpimistä keleistä johtuen ajoneuvon ilmastointia pidettiin jatkuvasti päällä, joka lyhensi bussien toiminta-aikaa, sillä ilmastoinnin käyttö kasvattaa virrankulutusta merkittävästi. Myös pöly aiheutti lasersensoreissa ongelmia havaita ympäristöä riittävän hyvin. Kaksi bussia kuudesta oli varustettu kutsu-toiminnolla, joten ne oli mahdollista tilata omalle pysäkillen älypuhelimien ladattavan sovelluksen avulla. (NCTR 2016, 5.)

2.9 SWOT-analyysi

Mitkä ovat itsestään ajavien autojen vahvuudet, heikkoudet, mahdollisuudet, sekä uhat tulevaisuuden kaupunkiympäristössä? Joukkoliikenneverkoston yhteyteen integroidut automaattiset bussit tarjoavat ratkaisuja nykyisen joukkoliikenteen pulmakohtiin. Uudet liikkumismenetelmät luovat uusia liiketoimintamahdollisuuksia. Tuore teknologia tuo mukanaan epävarmuustekijöitä, jotka nousevat esiin puhuttaessa automaattisista liikenneratkaistuista. Heikkouksien korjaaminen ja niiden muuttaminen vahvuudeksi tulee olemaan vuosikymmenien työ. Olen koonnut alapuolelle SWOT-analyysin UITP:n raportin pohjalta, jonka tarkoituksena on antaa yleiskatsaus automaattiajoneuvojen vahvuuksiin, heikkouksiin, mahdollisuuksiin, sekä uhkiin.

Ensimmäisenä merkittävänä vahvuutena voidaan mainita, että automaatio tulee lisäämään joukkoliikenteen tehokkuutta ja sujuvuutta. Se tarjoaa mahdollisuuden joukkoliikenteen tavoitettavuuden kasvuun ja vuorojen lisäämiseen silloin kun se normaalisti olisi kallista, esimerkiksi yö- ja ruuhka-aikaan. Automaatio tuo mahdollisuuden kehittää joustavampia joukkoliikennesuunnitteluratkaisuja, jolloin on mahdollista ottaa entistä paremmin huomioon vanhukset, liikuntarajoitteiset, lapset, sekä hajaseuduilla asuvat henkilöt. Automaation avulla voidaan luoda ovelta-ovelle tyyppinen ratkaisu, jonka toteuttaminen on nykyisellään yksi joukkoliikenteen keskeisimpiä haasteita (Huhta 2017, 11). Täysin elektroniset autot vähentävät päästöjä ja tulevat toimimaan portteina yleisen sähköautokannan uudistumiseen, sekä kasvuun. Automaatio tulee muuttamaan ihmisten tapaa ajatella joukkoliikenteestä. Yleisellä tasolla auto- ja kyytipalveluiden käyttö tulee kasvamaan, mikä johtaa vapaiden parkkipaikkojen lisääntymiseen ja liikenneluuhkien helpottamiseen. (UITP 2017, 4.)

Automaattiajoneuvoilla on omat heikkoutensa. Julkisen sektorin investointihalukkuus ei ole varmaa, kun kyseessä on uusi teknologia. Tämä tulee hidastamaan mahdollisesti innovaatioiden kehittämistä, sekä osaavan työvoiman hankkimista. Automaattiset minibussit saattavat vähentää ihmisten halukkuutta kävellä tai pyöräillä lyhyitä matkoja,

mikä näkyy hyötyliikunnan vähenemisenä. (UITP 2017, 4.) Suurimpana heikkoutena koetaan nykyisellään ajoneuvojen turvallisuus (Plungis 2017). Turvallisuus tulee olemaan nyt ja tulevaisuudessa tapetilla aina kun puhutaan itsestään ajavista ajoneuvoista.

Automaatiolla on käänteentekeviä mahdollisuuksia, joita hyödyntää julkisessa liikenteessä. Joukkoliikenteen muuttuminen oikeasti joustavaksi tulee tarjoamaan aivan uuden tavan hyödyntää uusia liikkumisratkaisuja. Autoista ja matkustajista kerätyn datan hyödyntäminen tarjoaa monille tahoille mahdollisuuden kehittää palveluitaan juuri asiakkaan näkökulmasta. Ruuhkan tehokas hallinnointimahdollisuus tulee sujuvoittamaan liikennettä ja siten vähentämään matkustusaikaa aamu- ja iltapäiväruuhkien aikana. Digitaalisuuden integrointi luo uusia keinoja sujuvoittaa ja parantaa matkakokemusta. Automaatio mahdollistaa joustavamman infrastruktuurin suunnittelun. Automaation avulla luodaan uusia hinnoittelumalleja palveluntarjoajille: reaaliaikaisia matkalippujen hinnoitteluja ajan/ruuhkan/käyttöasteen mukaan, vastaan nykyiset kiinteät matkalippujen hinnat. Automaatio myös vapauttaa parkkipaikkoja keskusta-alueilla, sillä ihmiset tulevan vähentämään oman auton käyttöä. (UITP 2017, 4.)

Uusi teknologia ja uudet tavat tuovat mukanaan uusia, jotka saattavat vaikuttaa merkittävästi automaattiautojen kehittymisvauhtiin. Teknologiset heikkoudet sekä suuren yleisön ennakkoluulot itsestään ajavien autojen teknologian osalta saattavat siirtää autojen kehittymisen kauas tulevaisuuteen. Uhaksi koetaan mahdollinen ruuhkien lisääntyminen tyhjien automaattiautojen ajaessa teillä. Puhuttaessa itsestään ajavista autoista, ei voi olla törmäämättä huoleen siitä, että tulevaisuuden teknologia vie ihmisten työpaikkoja. Yksityiset yritykset koetaan myös jonkintasoisena uhkana. Pelätään, että yritykset hankkivat monopoliasemaa vastaavan statuksen, joka tulee heikentämään joukkoliikenteen kehittymistä. Epävarmuus elinkaarikustannuksista ja taloudellisesta epävarmuudesta kehittäessä automaattioratkaisuja. (UITP 2017, 4.) Nykyisellään toteutetuissa etähallintajärjestelmissä käytössä oleva 4G yhteys ei ole tarpeeksi vakaa tulevaisuuden tarpeisiin. Nokia on kehittämässä Robusta hankkeen aikana 5G yhteyksiä, joilla saavutetaan nopea, tasainen ja ennen kaikkea luotettava yhteys valvomon ja ajoneuvon välillä. (Robusta 2017.)

3 Kustannuslaskennan teoriaa

Tässä luvussa käsittelen kustannuslaskennan määritelmää, sekä selvitän, mitkä tekijät pitää ottaa huomioon, kun lasketaan ajoneuvokustannuksia. Perustekijät koostuvat ajoneuvon ostohinnasta, ajokilometreistä vuositasolla, siitä kuinka kauan ajoneuvoa on ajateltu käyttävän, poltto- sekä lisäaineen kulutuksesta, renkaista, sekä henkilöstön palkka- ja käyttötunneista.

3.1 Kustannuslaskennan määrittely

Kustannuslaskennan tarkoituksena on selvittää aikaansaatuja suoritteiden kustannukset. Kustannuslaskentaa voidaan pitää kannattavuuslaskennan osana. Kannattavuuslaskenta pitää sisällään sekä kustannukset, että tuotot. (Ilmanen 2017.)

Laskentakohteet on syytä määritellä heti ensimmäiseksi ja kohteiden sisältö tulee olla huolella harkittu, jotta varsinainen laskentaosuus voidaan suorittaa riittävän tarkasti. Laskentakohde termi tarkoittaa yrityksen toimintoa, jonka erillisiä kustannuksia, sekä tuottoja on tarpeen seurata. Usein seurattuja laskentakohteita ovat palvelu, tuote, liiketoiminta-alue tai organisaatio. Määrittelyn jälkeen on syytä rajata, että minkälaisia kustannuksia laskentaan sisällytetään. (Ilmanen 2017.)

Jaottelun voi tehdä monella tapaa, kustannuslajeittain jaotellen, tai jakamalla kustannukset kiinteisiin ja muuttuviin kustannuksiin. Kustannuslajeittain jaottelu voi olla esimerkiksi seuraavanlainen: työkustannukset, ainekustannukset, pääomakustannukset, sekä muut lyhytvaikutteiset kustannukset. (Ilmanen 2017.)

Muuttuvat kustannukset määrittyvät suoraan suhteessa itse toiminnan määrään. Raaka-aineet ovat yksi esimerkki muuttuvista kustannuksista. Kiinteät kustannukset taas pysyvät samoina riippumatta toiminnan määrästä. Vuokrat, sekä kiinteistön poistot ovat esimerkkejä kiinteistä kustannuksista. (Ilmanen 2017.)

3.2 Ajoneuvojen kustannusten laskeminen

Elinkeinoelämän keskusliiton ja Suomen Kuorma-autoliiton yhteisesti nimeämä kuljetusmaksulautakunta (TEKLA) on luonut kustannuslaskentamallin, jonka avulla on mah-

dollista hinnoitella kuljetuksen kustannukset (SKAL 2009). Kaikki laskelmissa käytettävät hinnat ja arviot tulee laskea arvonlisäverottomana.

Ajoneuvojen kustannuslaskennan perustekijät koostuvat ajoneuvosta ja sen hankintahinnasta, vuotuisista ajokilometreistä, ajoneuvon pitoajasta, poltto- sekä lisäaineen kulutuksesta, renkaiden kestävydestä, sekä palkka- ja käyttötunneista. Polttoaineen kulutuksen laskeminen matemaattisesti on useimmiten epätarkkaa, sillä kulutukseen vaikuttavia tekijöitä on niin monta. Arvioita voidaan aina tehdä, mutta kulutuslaskelmat tulisi tehdä ajoneuvon kirjanpidon pohjalta. Myös renkaiden kesto määritellään aikaisempien tietojen perusteella, sillä renkaiden kestävyys riippuu monesta tekijästä. Esimerkiksi ajotapa, tienpinta, renkaiden tyyppi, sekä ajo-olosuhteet vaikuttavat. (SKAL 2009.)

Ajoneuvon valinta voidaan toteuttaa kahdella tapaa. Yksilöllisesti laskettaessa voidaan käyttää juuri kyseessä olevaa ajoneuvoa, mutta yleislaskelmissa käytetään muutamaa yleisintä kyseisessä tehtävässä käytettävää ajoneuvoa (SKAL 2009).

Vuotuiset ajokilometrit lasketaan joko ajokertojen ja kuljetusetäisyyden tai kuukauden ajokilometrimäärän ja ajokuukausien mukaan. TEKLAN ohjeistus neuvoo huomioimaan myös vuoden ajosuoritetta määritellessä ajoneuvon huolto- ja korjaustöistä aiheutuneet seisonpäivät. Vuodessa tulee myös muuta ajoa, jota syntyy ajoneuvon viennistä korjaamolle, pesuun, asemapaikalle jne. Tätä ei lasketa mukaan varsinaiseen ajosuoritukseen, vaan se otetaan huomioon kiinteiden kustannusten laskennan yhteydessä. (SKAL 2009.)

Ajoneuvon käyttöiän ja pitoajan määrittelemisen joudutaan arvioimaan kustannuslaskennassa usein aikaisempien kokemusten perusteella. Pitoaika vuosissa lasketaan seuraavalla kaavalla: käyttöikä(km) / ajokilometrit vuodessa. Käyttöikä kilometreissä lasketaan seuraavasti: Pitoaika vuosissa x ajokilometrit vuodessa. (SKAL 2009.)

Palkka- ja käyttötunteja laskiessa tulee TEKLAN ohjeistuksen mukaan huomioida se, että palkkatunteja laskiessa niiden lukumäärä on yleensä 5 – 15 prosenttia suurempi kuin auton käyttötunnit, sillä palkkatunnit sisältävät myös ajoneuvon tankkauksen, lähtökuntoon laittamisen, pesussa, korjaamossa käynnit ja muut vastaavat ylimääräiset ajot. (SKAL 2009.)

3.2.1 Kiinteät-, muuttuvat-, sekä muut kustannukset

Ajoneuvojen kustannuksia laskiessa kiinteät kustannukset koostuvat pääomakustannuksista, liikennöimismaksuista, ylläpitokustannuksista, sekä vakuutuskustannuksista (SKAL 2009). Muut kustannukset ovat muuttuvia kustannuksia, paitsi kuljettajan työ-kustannukset, jotka lasketaan omanaan.

Kuljettajan työkustannukset koostuvat kuljettajan palkasta, sekä välillisistä palkkakustannuksista. Kuljettajan palkka saadaan laskettua seuraavasti: palkkatunnit x keskimääräinen tuntipalkka. Keskipalkka määritellään niin, että iltä-, urakka ym. lisät huomioidaan. Välillisten palkkakustannusten osuus kuljettajan palkoista on yleensä noin 65 – 73 prosenttia. Välilliset palkat saadaan laskettua seuraavasti: välilliset palkkakustannusten prosenttiosuus x kuljettajan palkka / 100. (SKAL 2009.)

3.2.2 Ajoneuvojen kustannuslaskennan muuttuvat kustannukset

Muuttuvia kustannuksia laskiessa tulee ensin laskea osatekijöittäin per kilometri ja vasta yhteenlaskun jälkeen kerrotaan tulos vuotuisella ajomäärällä, jotta saadaan muuttuvien kustannusten arvo vuositasolla.

Poltto- ja lisäainekustannukset lasketaan samalla kaavalla: hinta per litra x kulutus (l/100km) / 100. Voiteluaineista, kuten öljyistä, jäähdytysnesteistä ja suodattimista muodostuvat kustannukset lasketaan ajokilometrien mukaan seuraavasti: voiteluhuollon kustannus / huoltovälillä. Usein voiteluainekustannukset sisältyvät korjaus- ja huoltokustannuksiin, joiden määrä arvioidaan keskimääräisenä kustannuksena ajoneuvon koko pitoajalle. Renkaiden kustannukset saadaan laskettua jakamalla kokonaishinta kokonaiskestomatkalla. (SKAL 2009.)

3.2.3 Ajoneuvojen kustannuslaskennan kiinteät kustannukset

Kiinteät kustannukset ovat kustannuksia jotka syntyvät, vaikka ei tehtäisi mitään. Ajoneuvon arvonaleneminen ja siitä johtuvat vuotuiset poistot, oman ja vieraan pääoman korot, sekä käyttöpääoman korot muodostavat yhdessä pääomakustannukset (SKAL 2009).

Ajoneuvon arvonalenemisprosentti kuvaa sitä, kuinka monta prosenttia ajoneuvon arvo vuosittain alenee keskimäärin. Arvonalenemisprosenttiin vaikuttavat mm. ajoneuvon tyyppi, ikä, markkinatilanne, ajoneuvon merkki, sekä kilometrimäärä. Sitä tarvitaan, kun lasketaan poistoja ja korkoja. SKAL on tehnyt jäännösarvotaulukon, jonka perusteella on helpompi valita arvonalenemisprosentti:

Taulukko 2. Jäännösarvotaulukko (SKAL 2009).

Pitoaika (vuotta)	Arvonalenemisprosentti		
	20	23	25
	Jäännösarvo (%)		
2	64	59	56
3	51	46	42
4	41	35	32
5	33	27	24
6	26	21	18
7	21	16	13
8	17	12	10
9	13	10	8
10	11	7	6

Lähde: SKAL 2009

Taulukon 2 avulla laskettu ajoneuvon arvonaleneminen otetaan huomioon kustannuslaskelmaa tehdessä poistoina. Vuosittaista poistoa varten tarvitsee laskea ensin jäännösarvo, joka lasketaan seuraavasti: ajoneuvon hankintahinta ilman renkaita x (1 – arvonalenemisprosentti / 100) potenssiin pitoaika. Vuosipoisto tehdään seuraavalla kaavalla: Hankintahinta uutena – jäännösarvo / pitoaika. (SKAL 2009.)

Oman ja vieraan pääoman korot saadaan laskettua seuraavasti: korkokerroin x vuosipoisto. Pääoman korkoa varten tarvitsee laskea ensin korkokerroin, joka lasketaan siten, että korkoprosentti / arvonalenemisprosentilla. Käyttöpääoman korolle voidaan pitää ohjeellisena lukuarvona 10 prosenttia pääoman vuosikorosta. (SKAL 2009.)

Vakuutusmaksut koostuvat yleisesti liikennevakuutuksesta, kaskosta, sekä tiekuljetusvakuutuksesta. Vastuuvakuutus ja keskeytysvakuutus, sekä muut mahdolliset lisävakuutukset tulee myös ottaa huomioon vakuutusmaksujen suuruutta laskiessa. (SKAL 2009.) Huomion arvoista on se, että yleislaskelmissa ei yleensä huomioida mahdollisia vakuutusbonuksia.

Liikennöimismaksut koostuvat ajoneuvon perusverosta ja käyttövoimaverosta, sekä katsastusmaksuista. Maksuihin voidaan myös sisällyttää liikennelupamaksut. Ajoneuvon ylläpitokustannukset koostuvat ajoneuvon pesusta, sekalaisista pienvarusteista, sekä säilytyksestä syntyvistä kustannuksista vuositasona. Muun sekalaisen ajon kus-

tannukset saadaan laskettua seuraavasti: muu ajo kilometreinä x muuttuvat kustannukset per kilometri. (SKAL 2009.)

3.3 Elinkaarikustannuslaskenta

Elinkaarikustannuslaskenta havainnollistaa sen, mitä valittu tuote tulee kokonaisuudessaan maksamaan yritykselle tuotteen elinkaaren aikana. Ostohinnan lisäksi termi käsittää myös käytön aikana ja käytöstä poistosta aiheutuneet kulut. Elinkaarikustannuslaskennan tavoitteena on siis kertoa tuotteen kokonaistaloudelliset kustannukset tuotteen elin aikana. (Motiva 2017.)

Pikkubussien elinkaaren pituutta varten haastateltiin HSL joukkoliikennesuunnittelija Miska Peuraa. Sähköpostihaastattelun perusteella selvisi, että yleisesti pienbussiliikennöitsijät ovat ajaneet pikkubusseilla yhden sopimuskauden ajan, jonka jälkeen vanha kalusto on myyty eteenpäin. Sopimuskauden pituus on ollut pienkalustoliikenteessä noin 5 vuotta. (Peura 2017.)

Elinkaaren pituus vaikuttaa ajoneuvosta saatavaan arvoon eteenpäin myytäessä. Jäännösarvoprosenttitaulukosta saadun ajoneuvon arvonalenemisprosentin avulla voidaan tehdä arvio arvonalenemisesta pitoajan aikana.

Ajoneuvon hankinnasta ja myymisestä syntyvien kustannusten lisäksi tulee ottaa huomioon vuosittaiset huolto- ja operointikustannukset, sekä muut maksut. Elinkaaren päättyessä saadaan ajoneuvon myymisestä jäännösarvo, joka vähentää kyseisen summan verran kokonaiselinkaarikustannuksista. Elinkaarikustannuslaskennan avulla voidaan katsoa selkeästi se, kuinka paljon kustannuksia mistäkin ajoneuvosta syntyy sen pitoaikana.

4 Joukkoliikenteen kustannusrakenne

Tässä luvussa käsitellään bussiliikenteen yksikkökustannuksia ja sitä millainen on joukkoliikenteen kustannusrakenne. Työssä syvennytään tarkemmin myös pienkaluston yksikkökustannuksiin. Avaan bussiliikenteen tuottamisen kustannuksia, jotka koostuvat henkilöstökuluista, poltto- ja voiteluainesta, renkaista ja muista varaosista, korjauksista ja huolloista, koroista vakuutuksista, sekä yleiskustannuksista.

4.1 Bussiliikenteen yksikkökustannukset

Joukkoliikenteen kustannuksia pääkaupunkiseudulla on parhaiten tutkinut HSL Helsingin seudun liikenne. Tätä työtä varten haastateltiin HSL:n projektijohtaja Kimmo Sinisaloa. Selvitin häneltä, että onko joukkoliikenteen yksikkökustannuksista tehty tuoreempaa versiota kuin vuodelta 2011. Sinisalon mukaan HSL on juuri päivittämässä yksikköhintoja seuraavaa liikennejärjestelmäsuunnittelunkierrosta varten. Tämä uusi joukkoliikenteen kustannusmalli valmistuu aikaisintaan vuoden 2017 lopussa, joten se ei valitettavasti ehdi mukaan tämän työn tueksi. Sinisalon (2017) mukaan kyseisen tutkimuksen luvut vastaavat vielä kohtuullisen hyvin bussiliikenteen kustannuksia, mutta pitkällä aikavälillä kustannusrakenne tulee muuttumaan.

Yhteydenoton perusteella voidaan todeta, että voidaan käyttää HSL:n keräämiä lukuja vuodelta 2011, mutta ottaa huomioon se, että voimakkaita muutoksia tulevaisuuden joukkoliikenteen kustannusrakenteeseen on tulossa. Näitä radikaalejakin muutoksia ovat automatisaatio, käyttövoiman muutos sähköön ja biopolttoaineisiin, sekä energian hinta. (Sinisalo 2017.)

Yhtä oikeaa tulevaisuuden ennustetta on mahdotonta antaa. Erilaisten herkkyystarkastelujen ja vaihtoehtoskenaarioiden kautta voidaan saada osviittaa tulevasta. Joukkoliikenteen nykyinen kustannusmalli tulee joka tapauksessa muuttumaan, eli nollavaihtoehto ei ole realistinen (Sinisalo 2017).

Tarkastellaan seuraavaksi bussiliikenteen yksikkökustannusrakennetta alla olevan taulukon 3 mukaan. Taulukko vastaa hyvin pitkälti nykyistä kustannusrakennetta bussiliikenteessä.

Taulukko 3. Bussiliikenteen yksikkökustannusrakenne (HSL 2012).

Linjakilometriosaa	Linjatuntiosaa	Vuoropäiväosa	Infrakustannukset	Yleiskustannukset
poltto- ja voiteluaineet (50 %)	palkat	pääoman poisto		
renkaat ja muut varaosat	välilliset palkat	korot		
korjaus ja huolto	poltto- ja voiteluaineet (50 %)	vakuutukset		
		yleiskustannukset		

Linjakilometriosalla tarkoitetaan bussin ajamaa yhden kilometrin mittaista ajoa sen reitillä. Se sisältää energiakustannukset, kuten polttoaine ja sähkö, sekä kaluston korjaus- ja huoltokustannukset. (HSL 2012, 13.)

Linjatuntiosa tarkoittaa tunnin mittaista ajoa reitillä. Tuntikustannukset bussiliikenteessä ovat puolestaan kuljettajien henkilökustannukset (HSL 2012, 13).

Vuoropäiväosalla tarkoitetaan bussin liikenteessä ajamaa kestoltaan vähintään yhden ajosivun mukaista vuoroa. Selvennykseksi, jos ajoreitillä tarvitaan ruuhka-aikaan samanaikaisesti esimerkiksi kolme ajoneuvoa, niin tästä syntyy kolme vuoropäivää. Näihin kustannuksiin sisällytetään muut kuin aikaisemmin luetellut menoerät, kuten vakuumukset, toimitilojen vuokrat, johdon palkat jne. (HSL 2012, 13.)

Infrakustannukset käsittävät kiinteistö- ja rata-kustannukset, yleiskulut, sekä poistot ja korot. Bussiliikenne käyttää muun ajoneuvoliikenteen kanssa yhteistä katuverkkoa, joten bussiliikenteelle ei jyvitetä infrastruktuurikustannuksista kuin pieni osa (suuret terminaalit ja bussiliikenteelle osoitetut omat joukkoliikennekadut). (HSL 2012, 13.)

Yleiskustannukset liikennöitsijän näkökulmasta tarkoittavat reitin suorittamisesta syntyvät muut kuin suoraan ajosuoritteiden tuottamisesta syntyvät menot. Esimerkkeinä näistä kustannuksista ovat pääomakustannus varikkokiinteistöistä, sekä hallintokustannukset. (HSL 2012, 13, 36.)

Liikennöinnin kokonaishinta saadaan kertomalla yksikkökustannuksilla edellä mainitut vastaavat suoritteet. Tämä kokonaishinta on se, josta kilpaillaan tarjouskilpailuissa ja jonka perusteella liikennöintikorvaus maksetaan. Seuraavassa osiossa perehdyn tarkemmin yksikkökustannuksiin ja kustannustekijöiden osuuksiin kokonaiskustannuksista.

4.1.1 Pienkaluston yksikkökustannukset vuonna 2016

Pääkaupunkiseudulla ja sen lähiympäristössä toimii HSL:n kautta kuusi yritystä, jotka liikennöivät myös pienkalustolla. Pienkalustolla tarkoitetaan minibusseja jotka ovat ikään kuin pakettiauton tekniikkaan perustuvia pienoislinja-autoja. Kaupunkiliikenteen

minibussit eroavat kuitenkin paljon pakettiautoista, sillä niihin on rakennettu matalalattia.

Pienkaluston kustannustiedot perustuvat HSL:n Liikennepalvelut-osaston kanssa käymääni kirjeenvaihtoon. Olen koonnut alla oleviin taulukoihin keskeisimmät tiedot pienkaluston yksikkökustannuksista vuonna 2016.

Taulukko 4. Pienkaluston ajosuoritteiden yksikköhinnat (Makweri 2017).

	Linjakilometriososa (€)	Linjatuntiossa (€)	Autopäiväkustannus (€)
KESKIARVO	0,46	29,56	193,12
MEDIAANI	0,37	29,68	196,86

Taulukon 4 pienkaluston ajosuoritteiden yksikköhinnat perustuvat 01.12.2016 - 31.12.2016 välisellä ajalla tehtyihin mittauksiin. Linjakilometriosan kustannukset vaihtelivat yrityksestä riippuen 35 sentin – 67 sentin välillä keskiarvon ollessa 46 senttiä. Linjatuntiosan kustannukset vaihtelivat 24,23 euron – 35,86 euron välillä keskiarvon ollessa 29,56 euroa. Autopäiväkustannukset vaihtelivat 102,47 euron – 233,62 euron välillä keskiarvon ollessa 193,12 euroa.

Alla olevassa taulukossa 5 ovat pienkaluston ajosuoritteiden määrät ovat kerätty 01.12.2016 - 31.12.2016 välisenä aikana. Taulukossa 5 havainnollistetaan linjakilometrit, linjatunnit, sekä ajopäivät keskiarvon ja mediaanin mukaan.

Taulukko 5. Pienkaluston ajosuoritteiden määrät (Makweri 2017).

	Linjakilometrit	Linjatunnit	Vuoropäivät
KESKIARVO	361 010	20 596	2 027
MEDIAANI	99 271	8 687	902

Taulukon 5 mukaan vuodessa 2016 ajettujen kilometrien yhteismäärä vaihteli 21111 km – 1582690 km välillä yrityksestä riippuen keskiarvon ollessa 361010 kilometriä. Linjatunteja kertyi keskimäärin 20596 vaihteluvälin ollessa 2597 tuntia – 88163 tuntia. Vuoropäiviä kertyi keskimäärin vuoden aikana 2027 vaihteluvälin ollessa 253 päivää – 8337 päivää.

HSL:n tilaamassa pikkubussiliikenteessä busseille ei ole omia, normaalikokoisesta bussikalustosta poikkeavia ikävaatimuksia. Keski-ikä on kuitenkin alhaisempi kuin normaalikokoisten bussien. Tyypillisesti liikennöitsijät ovat ajaneet pikkubusseilla yhden sopimuskauden ajan, jonka jälkeen vanha kalusto on myyty eteenpäin. Tällä hetkellä HSL-liikenteen vanhimmat päivittäisessä käytössä olevat pikkubussit ovat vuodelta 2011. (Peura 2017.)

4.2 Linja-autoliikenteen kustannustekijät, sekä kustannusindeksi

Kustannusindeksit mittaavat erilaisten kustannustekijöiden hintojen kehitystä. Linja-autoliikenteen kustannusindeksi mittaa linja-autoliikenteen harjoittamiseen liittyvien kustannustekijöiden hintojen kehitystä. (Stat.fi.)

Palkat ja välilliset palkat muodostavat suuren osan kokonaiskustannuksista. Bussiyritysten henkilöstöstä noin 86 prosenttia on autohenkilöstöä ja loput toimi- tai muun liiketoiminnan henkilöstöä (Linja-autoliitto 2016). Linja-autokuljettajan säännöllinen työaika on 80 tuntia kahden viikon jaksossa. Alle 4 vuoden kokemuksen omaava kuski saa peruspalkkaa 2160 euroa kuukaudessa, kun taas 4-8 vuoden kokemuksella 2195,2 euroa kuukaudessa. (Linja TES 2017.) Linja-autonkuljettajan keskipalkkaa lisineen voidaan pitää 2500 euroa kuukaudessa. Tieto perustuu palkkavertailu.comin taulukkoon, jossa oman palkkansa on ilmoittanut 274 linja-autonkuljettajaa (palkkavertailu 2017). Vuonna 2016 linja-autokuljettajien palkat olivat 30,3 prosenttia kokonaiskustannuksista, johon lisätään myös välillisten palkkojen osuus 19,5 prosenttia. Täten lähes puolet linja-autoliikenteen kustannuksista tulee yksinomaan henkilöstökuluista.

Toinen suuri kustannuserä on poltto- ja voiteluaineet, joihin menee noin 15 prosenttia linja-autoliikenteen kokonaiskustannuksista (Lalki 2017). Polttoaineen kulutus riippuu monista erilaisista tekijöistä. Siihen vaikuttavat ajonopeus, kokonaismassa, ajoolosuhteet, ajoetäisyys, ilmanvastuskerroin, renkaat, ajotapa, moottorin kunto ja niin edelleen. Tekijöiden suuresta määrästä johtuen kulutuslukemat tulisi arvioida kyseisen ajoneuvon ajopäiväkirjan perusteella. (SKAL 2009.)

Renkaat ja muut jaottele mattomat varaosat veivät alle 4 prosenttia linja-autoliikenteen kustannuksista (Lalki 2017). Vuoteen 2015 verrattuna renkaiden kustannukset ovat nousseet huhtikuuhun 2017 mennessä 2,1 prosenttia. Osviittaa renkaiden hinnoista

saadaan alan rengasluetteloista. Esimerkkinä voisin nostaa Continental rengasvalmistajan hinnastosta linja-auton renkaat, jotka maksavat uutena keskimäärin 700 euroa kappaleelta (Continental 2016).

Korjaus- ja huoltokustannukset vievät alle 7 prosenttia kokonaiskustannuksista. Lukuarvoon on sisällytetty kaikki huollot ja korjauskustannukset, pois lukien öljyt ja muut voiteluaineet. Vaikka taloussuhdanteet ovat vuosien aikana yleisesti muuttuneet, niin korjaus- ja huoltokustannuksissa tämä ei ole juurikaan näkynyt. (Lalki 2017.)

Pääoman poiston osuus on maltillisella noin 8 prosentin osuudella kokonaiskustannuksista, eikä sen kustannusosuus ole heitellyt viime vuosina kovin paljoa. Korkojen osuudeksi on laskettu 0,7 prosenttia ja niiden kustannukset ovat laskeneet 2017 huhtikuuta mennessä 24 prosenttia vuodesta 2015. (Lalki 2017.)

Vakuutusmaksut vievät alle 2 prosenttia linja-autoliikenteen kokonaiskustannuksista. Vakuutusmaksut ovat kallistuneet vuosien 2015 – 2017 välisenä aikana yli 13 prosenttia. (Lalki 2017.)

Yleiskustannukset ovat pysyneet maltillisina ja ne ovatkin nousseet vain 2 prosenttia vuodesta 2015 ja vievät noin 15 prosenttia kokonaiskustannuksista. Kokonaisindeksiä vertaillen vuodesta 2015 vuoteen 2017 voidaan todeta, että vaikka indeksimuutoksia kustannustekijäosa-alueittain on vuosien aikana tapahtunut, niin silti huhtikuussa 2017 kokonaisindeksi on noussut vain 0,8 prosenttia. (Lalki 2017.)

5 Robusta järjestelmän / robottibussin kustannusrakenne

Tässä osiossa käsitellään automaattisen bussiliikenteen yksikkökustannusrakennetta, sekä kustannuksia nimenomaan automaation ja robotiikan kannalta. Tässä osiossa käsitellään sitä, millaisia kustannustekijöitä automaattisissa pikkubusseissa on. Kustannustekijät avataan kustannusrakennetta myötäillen. Tässä osiossa kerrotaan millaisia tekijöitä automaation lisääminen ajoneuvoon tuo mukanaan, sekä minkälaisia lisäkustannuksia esimerkiksi valvonta ja automaattisuuden mahdollistavat sensorit tuovat mukanaan.

5.1 Automaattisen bussiliikenteen yksikkökustannukset

Seuraavaksi verrataan nykyisen bussiliikenteen yksikkökustannusrakennetaulukkoa automaatio huomioiden. Alla oleva taulukko 6 havainnollistaa nykyisen bussiliikenteen yksikkökustannusrakenteen.

Taulukko 6. Bussiliikenteen yksikkökustannusrakenne (HSL 2012).

Linjakilometriososa	Linjatuntiososa	Vuoropäiväosa	Infrakustannukset	Yleiskustannukset
poltto- ja voiteluaineet	palkat	pääoman poisto		
renkaat ja muut varaosat	välilliset palkat	korot		
korjaus ja huolto	poltto- ja voiteluaineet	vakuutukset		
		yleiskustannukset		

5.1.1 Linjakilometriososa

Poltto- ja voiteluaineiden kustannukset korvaantuvat tässä mallissa energian hinnalla, sekä akuston elinkaaren aikana syntyvistä kustannuksista. Tulevaisuudessa sähkökäyttöiset ajoneuvot joukkoliikenteen saralla tulevat yleistymään todella voimakkaasti, joten sen sijaan, että arvioitaisiin polttoaineen hintaa, olisi järkevää tulevaisuuden kustannuslaskelmissa arvioida energian hintaa, sekä akkupakettien elinkaarikustannuksia. Täyssähköinen tyylisuunta tulee jatkumaan bussiliikenteen kaluston osalta, oli niihin asennettuna automaatiota tai ei. Kustannustehokkuuden näkökulmasta olisi järkevää, että automaattipikkubussit voisivat käyttää samoja latausasemia kuin isot täyssähköbussit, joilla operoidaan runkoliikennettä. Täten olisi mahdollista tarjota kustannustehokas ratkaisu, joka palvelisi loppukäyttäjiä entistä paremmin.

Energian hinta lasketaan kertomalla keskimääräinen kilometrikulutus (kWh / km) sähkön hinnalla. Helsingin Energian perussähkön hinta on 5,79 senttiä kilowattitunnilta (Helen 2017). Automaattisen pikkubussin keskimääräinen kilometrikulutus (kWh / km) riippuu monesta tekijästä, samalla tavalla kuin polttomoottorikäyttöisen auton kilometrikulutusta arvioidessa. Automaattibussin voidaan kuitenkin olettaa ajavan ihmiskuljettajaa taloudellisemmin ja optimoimaan ajotavan juuri oikein ympäristön mukaan. Automaattisen pikkubussin keskimääräinen kilometrikulutus on 0,27 kilowattituntia per kilometri (Santamala 2017).

Sähköbussseissa on käytössä yleisesti joko litium-rautafosfaatti (LiFePO) tai litiumtita-naatti (LiTiO) akku, niiden soveltuvien ominaisuuksien tähden. LFP-akuston etuna on edullisempi latausratkaisu, jossa yöllä ladataan varikolla ja päivällä ajetaan ajoneuvolla. Etuna on myös halvempi hankintahinta per kilowattitunti, mutta toisaalta se joudutaan korvaamaan uudella akulla aikaisemmin. LTO-akusto on hankintahinnaltaan per kilo-wattitunti kalliimpi, mutta se on pidempi ikäinen ja mahdollistaa korkeatehoisen latauk-sen. LTO on potentiaalinen vaihtoehto kaupunkiliikenteen suorittajaksi. (Markkula & Vilppo 2016, 8.)

Seuraavassa on esimerkki akkupakettien elinkaarikustannusten laskemisesta:

Akun hinta euroissa per kilometri lasketaan yhtälöllä, joka on

$$\alpha = \frac{p}{0,9 * \gamma * 1/c}$$

p = Akun hankintahinta (€/kWh)
 γ = sykli-ikä (kpl)
 c = bussin nettokulutus (kWh/km)
 α = Akun hinta/kilometri (€/km)

(1)

Yhtälössä on käytetty LTO-akkua laskentamallina. Yhtälössä on oletettu, että akun kapasiteetti on sen eliniän aikana keskimäärin 90 prosenttia. Hankintahinnan ja sykli-iän hintatiedot perustuvat Markkula ja Vilppo 2016 –raporttiin.

Automaattisen pikkubussin LTO-akun kulumisen kustannus per kilometri on laskettu yhtälön (1) mukaisesti seuraavasti yhtälössä (2):

$$\frac{2000 \text{ kWh}}{0,9 * 12000 * 1/0,27} = 0,05 \text{ €/km}$$
(2)

Automaattisen pikkubussin LFP-akun kulumisen kustannus per kilometri on puolestaan laskettu yhtälössä (3):

$$\frac{1000 \text{ kWh}}{0,9 * 3000 * 1/0,27} = 0,10 \text{ €/km}$$
(3)

Edellä olevien laskelmien perusteella voidaan todeta, että kilometrikustannukset energian hinnan ja akuston kulumisen osalta ovat 6,5 tai 11,5 senttiä per kilometri, riippuen käytössä olevasta akkutyypistä. Tällä hetkellä esimerkiksi Navya Arma ja EasyMile EZ10 –robottibusseissa on käytössä LFP-akkuratkaisu.

Korjauksien ja huoltojen osalta kustannusrakenne tulee muuttumaan ainakin automaation mahdollistavan laitteiston osalta. Kustannusrakenne riippuu siitä, että millainen yhteistyömalli sovitaan etävalvontainfraa ja autoinfraa hallinnoivien tahojen välille. Eräs mahdollinen malli voisi olla, että etävalvontainfran tarjoava taho olisi vastuussa tietoliikenteen, tietoturvan, sekä muiden kriittisten päivitysten toteuttamisesta (Alm 2017).

Korjaus-, huolto-, rengas ja muut varaosakustannukset tulevat muuttumaan nykyisestä, vaikka emme ottaisi automaation mahdollistavaa laitteiston luomaa muutosta huomioon. Tämän muutoksen syynä on ajoneuvokaluston päivittyminen nykyisestä polttomoottoriaikakaudesta sähköiseen aikakauteen.

Sähköbussien elinkaaren huoltokustannukset on arvioitu keskimäärin 3 senttiä kilometriltä alemmiksi, kuin dieselistä käyttövoimansa saavat. Sähköbussin huoltokustannukset ovat 22 senttiä per kilometri ja dieselbussin 25 senttiä per kilometri. (Markkula & Vilppo 2016, 32.) Voidaan lisäksi arvioida, että automaattibussin huoltokustannukset ovat hiukan alemmat, kuin manuaaliohjauksessa. Nämä arviot ovat tehty varovaisesti, sillä valmistajien lupauksiin ei ole Markkulan ja Vilppon raportissa haluttu täysin luottaa. Todellisuudessa tulevaisuuden säästöt voivat olla enemmänkin, kuin mitä nyt esitetyt. Huomioimattoman lisäkustannussäästön on arvioitu olevan jopa 4-5 senttiä per kilometri. (Markkula & Vilppo 2016, 18.)

5.1.2 Linjatuntiosa

Tuntikustannusten suuri enemmistö koostui bussinkuljettajien henkilökustannuksista. Automaatio myötä henkilöstökustannusrakenne tulee muuttumaan paljon. Varsinaisia kuljettajia ei enää tarvita ajoneuvoon sisälle, mutta uusia tehtävänimikkeitä syntyy samalla kun automaatio otetaan käyttöön.

Bussien etähallintaan ja niiden seurantaan tarvitaan kuitenkin henkilöstöä. Mielekäs ajatus olisi, että voisimme hyödyntää bussikuskiensa ammattitaitoa etävalvonnassa. Bussin kuljettaja on kuitenkin ammattikuski, joka ymmärtäisi varmasti erikoistilanteiden

luonnetta ja osaisi ottaa huomioon ajamiseen liittyvät seikat, sekä erityispiirteet. Lain-säädännöllistä rajoitetta sille, kuinka monta bussia per valvoja on mahdollista olla, ei ole. Esimerkiksi valvojan ohjatessa viittä bussia kerrallaan, robottibussien tuntikustannukset ovat karkeasti viidesosan normaalista.

Käytännössä henkilökustannuksiin tulee laskea ainakin alkuvaiheessa mukaa myös automaattibussissa oleva opas, joka kertoo ja opastaa matkustajia. Samalla mahdollistetaan jatkuva tiedonkeruu, sekä parannuskohteiden tunnistaminen ja niihin reagoiminenkin nopeutuu.

Etävalvojan työtehtävien on arvioitu olevan tulevaisuudessa rutiinitoimenpiteitä, joissa etävalvoja kertoo automaattibussille mitä tehdä ja bussi tietää teon toteutuksen, ilman että etävalvoja varsinaisesti ohjaisi bussia. Alm arvioi, että täysautomaattisten ajoneuvojen yleistyminen tulee viemään vielä vuosikymmenen, mutta kun kuski voidaan korvata, ei kuljettajille ole ainakaan nykyisellä mittapuulla töitä tarjolla. (Alm 2017.)

5.1.3 Vuoropäiväosa

Vuoropäiväkustannusten osalta ei suuria muutoksia tapahdu kustannusrakenteessa. Pääoman poistoon liittyy ajoneuvon arvon aleneminen. Itse ajoneuvon arvonaleneminen tapahtuu automaation mahdollistavista ominaisuuksista huolimatta normaalisti, sillä Robusta järjestelmä on implementoitu ajoneuvoon, joten järjestelmä ei itsestään hidasta/nopeuta ajoneuvo-alustana toimivan auton arvonalenemista.

Tampereen yliopistolle tehdyn Pro gradu –tutkielman mukaan liikennevakuutuskorvaukset tulevat pienenevään automaation lisätessä liikenneturvallisuutta. Korvausten arvioitiin pienenevän 2020-luvun alkupuolelta lähtien ja pienemisen arvioitiin kiihtyvän 2030-luvun loppupuolella 4- ja 5-automaatiotason autojen yleistyessä (Nummelin 2017, 142). Liikenneturvallisuuden kasvaessa riittävän korkeaksi, voidaan alkaa miettimään vaihtoehtoisia halvempia tapoja ostaa vakuutus ajoneuvoon. Tutkielmassa arvioitiin automaattiautojen edellyttävän vakuutusyhtiötä luomaan oma, erillinen liikennevakuutusjärjestelmä (Nummelin 2017, 146).

Muut vuoropäiväkustannukset kuten johdon palkat, toimitilojen vuokrat, lainojen korkokustannukset ja muut vastaavat yleiskustannukset eivät juurikaan muutu automaation myötä.

5.2 Automaation kustannukset ja sen hallintaan liittyvät menoerät

Ajoneuvon automaatioon liittyy kustannustekijöitä, jotka tulee ottaa huomioon kustannuksia laskiessa. Tässä osiossa käsitellään akkujärjestelmän sekä automaation mahdollistavien sensoreiden teknologian ja hinnan kehitystä tulevaisuudessa. Tässä osiossa kerrotaan myös etähallinnasta ja valvomosta syntyvistä kustannuksista. Luvussa käsitellään henkilöstökustannuksia, sekä niiden vaikutusta kokonaiskustannuksiin. Lopuksi kerrotaan automaation lisäämisestä nykypäivän ajoneuvoon ja kuinka kustannuspainopiste tulee muuttumaan valvontapuolella.

5.2.1 Akkujärjestelmä

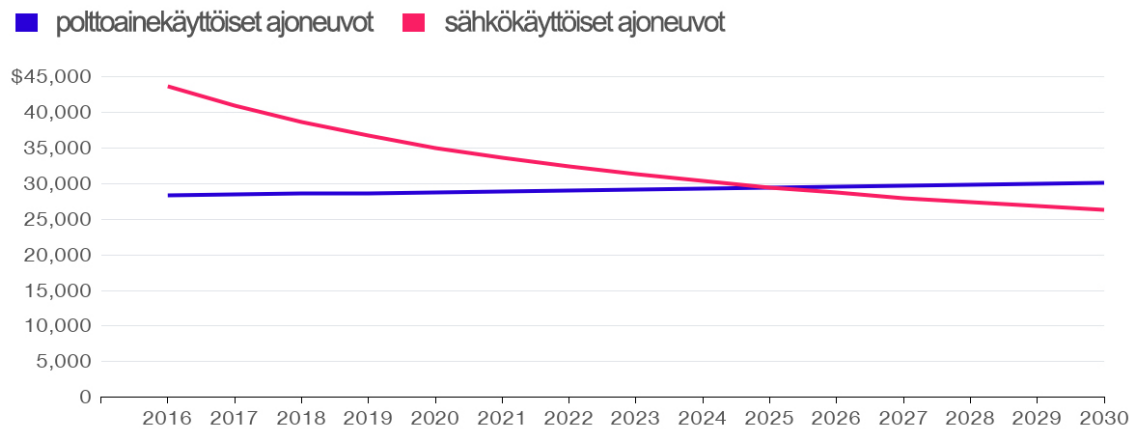
Itsestään ajava auto ei välttämättä tarkoita sitä, että se olisi alustaltaan sähköauto. Silti suurin osa kehitteillä olevista automaattisista ajoneuvoista on sähköautoja. Siksi onkin relevanttia arvioida akkujärjestelmän hintaa aivan kuin sähköautossa. Tavallisten sähköbussien kustannuslaskenta eroaa polttomootorikäyttöisten bussien osalta erityisesti akuston osalta. Sähköauton akkujärjestelmä on yksi ajoneuvon kalleimmista osista. Akusto maksaa noin kolmanneksen ajoneuvon kokonaiskustannuksista. Tähän on tulossa muutos, sillä suuret kansainväliset autovalmistajat kuten Daimler, Tesla, VW, Renault ovat kasvattamassa lithium-ion akkujen tuotantoa. Erityisesti Eurooppaan rakennettavat tuotantolaitokset ovat nyt tärkeässä asemassa, kun tarkastellaan lithium-ion akkujen tuotantoa. Saksan myönsi toukokuussa 2017 yli 500 miljoonan euron investoinnin Daimlerille (Daimler Media 2017).

Näiden uusien tuotantohankkeiden seurauksena on tehty arvioita, joiden mukaan maailmanlaajuinen akkujen tuotantokapasiteetti tulee kaksinkertaistumaan vuoteen 2021 mennessä. Euroopan markkinoiden osuus jopa yli kaksinkertaistuu nykyisestä 2,5 prosentista. (Hirtenstein 2017.)

Tuotannon kasvun seurauksena lithium-ion akkujen on arvioitu olevan 43 prosenttia halvempia vuonna 2021, kuin tänä päivänä. Hintapudotuksen arvioidaan olevan yli 100 euroa kilowattitunnilta. Bloombergin tutkimusten mukaan tämän seurauksena vuonna 2026 Yhdysvaltojen markkinoilla keskikokoinen sähköauto tulee olemaan halvempi kuin tavallinen auto. (Hirtenstein 2017.) Taulukossa 7 on havainnollistettu polttoainekäyttöisten - ja elektronisten ajoneuvojen hinnankehitystä tulevaisuudessa. Kuten voi-

daan taulukosta 7 huomata, sähköautot saavuttavat vuonna 2025 saman hintatason kuin vastaava polttomoottorilla toimiva ajoneuvo.

Taulukko 7. Elektronisten autojen hinnankehitys (Bloomberg New Energy Finance 2017).



5.2.2 Ajoneuvon sensorit ja muut osat

Suomen olosuhteet asettavat omat haasteensa ajoneuvojen sensoreille, kameroille, sekä muille osille, joita tarvitaan automaation mahdollistamiseksi. Yhtymäkohtaa eri sensoreiden kestävydestä Suomen olosuhteissa olen hakenut tienvarsilla olevien laitteiden kestävydestä ja siitä mitä kustannustekijöitä pitää ottaa huomioon, kun tarkoituksena on käyttää sensoreita ajoittain haasteellisissa olosuhteissamme. Esimerkiksi Suomen tienvarsilla käytössä olevat digitaaliset laitteistot kestävät 8-12 vuotta (Suursalmi 2017).

Suola ja vesi syövät opaste- ja laitekotelot varsin nopeasti tienvarressa. Laitetekelo on oltava korroosion kestävästä materiaalista kuten kiillotetusta haponkestävästä teräksestä (AISI316). Opastetoimitukseen kuuluvien suojien ja koteloiden suojausluokka on IP56, mikä takaa riittävä suojan Suomen säässä. (Suursalmi 2017.)

Suomen olosuhteista johtuen esimerkiksi laitteistokaapit on eristetty (vähintään 10 millimetriä polyetyleenä vastaavalla eristeellä) ja niihin on asennettu erilliset lämmittimet, jotta laitteet toimivat myös talven pakkasilla. Esimerkiksi tien varsilla olevien LED-opasteiden tuotevaatimuksissa edellytetään, ettei opasteen etulevy saa huurtua missään olosuhteissa. Lisälämmittimien tilalle uusimpana ratkaisuna huurtumiseen on infrapunaledit jotka lämmittävät etulevyä sen verran, ettei huurtumista tapahdu. (Suursalmi 2017.)

Kaikille tienvarren laitteille tehdään kerran vuodessa vuosihuolto jossa mm. pestään laitteet ulkopuolelta. Perushuoltojen lisäksi osalle laitteita, kuten tiesääasemille, tehdään tarkempia kalibrointeja yleensä syksyllä ennen talven liukkaita. Tunneleiden laitteita joudutaan pesemään useammin, koska ne likaantuvat nopeammin. (Suursalmi 2017.)

Yksimielisyyttä talviolosuhteiden vaikutuksesta automaation kustannuksiin ei ole. Varsinaisia pakkasrajoja ei ole, vaan rajat tulevat vastaan anturien kylmäkestosta tai ajoneuvojen akkujen kestästä. Käytännössä voidaan ajatella, että talviolosuhteita varten tarvitaan hieman laajempi patteristo antureita, laajempia ohjelmistokokonaisuuksia, sekä fyysisiä suojauksia antureita varten (Santamala 2017a). Talviolosuhteet kasvattavat myös virrankulutusta, sillä lisäkäyttöinen lämmitys on Suomen oloissa tarpeen. Tosin tämä voidaan myös toteuttaa muutoinkin, kuin sähköisesti, joten täten on mahdollista lämmittää ajoneuvoa ilman, että toiminta-aika reitillä lyhenee.

Nykyisin käytössä olevissa automaattibusseissa antureista syntyvä kustannus on noin 30 000 – 40 000 euroa. Näihin anturikustannuksiin voidaan lisätä talven vaatimat kustannuslisät, jotka ovat noin 25 prosentin luokkaa. Tällä hetkellä anturien tuotantokustannukset ovat laskemassa huimaa vauhtia. Erityisesti 3D lidar –sensoreiden tuotannon kehittämiseen käytetään paljon voimavaroja. Santamala uskookin, että pian lidar –sensorit eivät ole enää kokonaishinnan pullonkaulana. (Santamala 2017a.)

Eri liikennekäytössä olevien sensoreiden markkinat tulevat kasvamaan maailmanlaajuisesti tulevaisuudessa. MarketsandMarkets -yrityksen tutkimusten mukaan sensorimarkkinoiden CAGR (Compound Annual Growth Rate) eli liikevaihdon keskimääräinen kasvu on melkein 9 prosenttia vuodesta 2017 vuoteen 2023. (Pell 2017.) Tuotantokustannusten lasku yhdistettynä kasvaviin markkinoihin tulee halventamaan automaattisissa busseissa tarvittavien sensoreiden hintaa, mikä taas vaikuttaa positiivisesti valmistuskustannuksiin.

Talvi aiheuttaa muitakin kustannuksia, kuin automaation mahdollistavien laitteistoiden suojaaminen. Suurimpana kustannuseränä voidaan pitää talven osalta infrastruktuurin kunnossapitoa. Talven osalta haasteita aiheuttavat muuttuva ympäristö, eli kinokset ja kova lumipyry. Huolellisella kunnossapidolla näitä automaation haasteita pystytään madaltamaan. Jotkin hankalat *last-mile* –liikennöintialueet saattavat vaatia muutoksia reitti- / infrastruktuurisuunnitteluun. (Santamala 2017a.)

Kuten voimme ylläolevista kappaleista päätellä, niin pohjoismaiset olosuhteet tuottavat lisäkustannuksia, niin rakennus- kuin huoltovaiheessa, joita ei välttämättä muualla päin ole vielä päästy perusteellisesti testaamaan automaattibusseissa. Kansainvälisten automaattipikkubussien valmistajien tulee ottaa huomioon haastavat olosuhteet; siksi Suomi onkin hyvä maa tehdä pilottihankkeita.

5.2.3 Etähallinta ja valvomo

Turvallisuuden takia Robusta bussien kommunikaatiota varten täytyy olla oma priorisoitu tietoliikennekanava, jota esimerkiksi kuluttajien netin käyttö ei häiritse. Etävalvonnan ollessa laaja kokonaisuus, priorisoidun tietoliikenteen kustannukset eivät ole suuria. Taustalla oleva välttämättömyys määrää sen, että tiedon välittämisen ja kommunikaation on tapahduttava täysin reaaliajassa. Muun tarvittavan datan suhteen riittää käytännössä tavallinen verkkoyhteys, sillä liikkuvan datan määrä ei ole suuri. (Alm 2017.)

Priorisoidulla tietoliikennekanavalla tarkoitetaan sellaista yhteyttä, mikä ei käytä samoja kanavia tai taajuuksia, kuin peruskaupasta ostettava puhelinliittymä. Tavallisissa kaupasta ostettavissa yhteyspaketeissa on se huono puoli, että kaupunkialueella moni käyttäjä käyttää samaa tukiasemaa, jonka kautta yhteys kulkee. Jos tarpeeksi moni laite käyttää samaa tukiasemaa samanaikaisesti, niin se voi mennä ikään kuin tukkoon. Tämä tukkoon meneminen aiheuttaa yhteyden heikkenemistä ja pätkimistä, mikä muodostaa turvallisuusriskin automaattisten bussin kannalta. (Alm 2017.)

Priorisoitua kaistaa esimerkiksi automaation etähallintaa varten on mahdollista ostaa. Tällä varmistettaisiin se, ettei turvallisuusriskejä pääsisi syntymään heikon yhteyden takia. Nykyisellä kaupasta ostettavalla liittymällä voidaan muodostaa yhteys automaattibussin ja etävalvomon välillä ja tehdä kokeiluja, sekä eräänlaisia pilottihankkeita. Täytyy kuitenkin huomioida se, että kun kokeiluista ja pilottihankkeista siirrytään eteenpäin, niin priorisoitu verkkoyhteys on edellytys vakaalle toiminnalle. (Alm 2017.)

Etävalvomon osalta kustannuksia syntyy valvontaruuduista, sekä ohjaamisen mahdollistavista laitteistoista. Kustannukset, jotka syntyvät etävalvomon fyysisistä laitteista, ovat verrattain pienet (Alm 2017).

Alla ole kuvio 1 havainnollistaa meille yksittäisen etävalvojan valvontapisteen koostuvan monesta näyttöpäätteestä. Kuvio 1 on suomennettu Demos Helsingin luomasta etävalvojan hallintakeskuksen mallinnuksesta.



Kuvio 1. Yksittäisen operoijan näyttöpäätekeskus rakenne (Demos Helsinki 2017).

VR-lasien käyttöä automaattibussien ohjaamisessa on myöskin selvitetty, mutta niissä ongelmia tuottavat heikko latenssi, rajoittunut 360 näkyvyys, sekä kommunikoinnin kadottaminen "oikeaan maailmaan" verrattuna näyttöpäätteillä toteutettuun etävalvontaan (Demos Helsinki 2017).

Tätä työtä varten haastateltiin BestMile yrityksen operatiivista johtajaa Maud Simonia, jotta saatiin kattavampi kuva etähallinnan kustannuksista. BestMile ei valmista busseja tai toimita teknologiaa, jonka seurauksena bussista tulee itsestään ajava. BestMile tuottaa ohjausalustan, jolla on mahdollista operoida ja optimoida erilaisia automaatioliikenteen palveluita. Näitä ovat esimerkiksi käskyjen lähettäminen, monitorointi, reititys, huolto, autojen akkujen varaustilanteen seuranta. Ohjausalustan kustannukset perustuvat ajettuihin kilometrimääriin, joidenka kustannukset ovat 0,08 senttiä kilometriltä. Lisäksi tulee huomioida ohjausalustan perustamiskustannukset, jotka ovat keskimäärin 10 000 euroa. (Simon 2017.)

Simonin mukaan on mahdollista, että yksi ihminen voisi ohjata tai valvoa jopa 50 – 100 ajoneuvoa, jolloin linjatuntiosakustannukset saataisiin todella alhaisiksi verrattuna nykyiseen kustannustasoon. Simon kuitenkin huomauttaa, että tässä tapauksessa tarvit-

taisiin myös kenttätiimi, jonka voisi lähettää seuraamaan tilannetta eri busseihin. Tämän kenttätiimin koko riippuu käytössä olevien bussien määrästä. (Simon 2017.)

5.2.4 Henkilöstö

Henkilöstökustannusrakenne tulee muuttumaan automaation myötä. Karkeasti arvioiden kustannussäästöjä syntyy siitä, ettei automaattibussiin tarvitse kuljettajaa, vaan ohjaus tehdään etänä. Tätä työtä varten hankittiin lisätietoa arvioiduista kustannussäästöistä haastatteleamalla puhelimitse Demos Helsingin palvelumuotoilija Ossi Korhosta. Kuljettajan puuttuminen bussista, lisää matkustajien turvattomuuden tunnetta etenkin ilta- ja yöaikaan (Korhonen 2017).

Sellainen henkilöstörakenne, jossa on 1 ohjaaja tai valvoja viittä bussia kohden, toimii parhaiten monotonisilla reiteillä, sekä kaupunkiliikenteessä työmatka-aikaan liikennöivillä busseilla. Korhonen huomauttaa, että oppaan merkitys automaattibussissa riippuu ajettavasta reitistä. Ajoreitti ja -aika määrää osaltaan asiakkaan turvallisuuden tunteen. (Korhonen 2017.)

Kustannuksia laskiessa tulee ottaa huomioon onnistuneen asiakkaan palvelukokemuksen täyttämiseen tarvittavat vaatimukset. Kuten yllä Korhonen totesikin, niin nämä vaatimukset ovat reittikohtaisia. Työmatkaliikenteessä ja muilla reiteillä, joissa asiakkaat kokevat olonsa turvallisimmaksi, henkilöstön lisäkustannukset ovat kaikkein matalimmat, sillä silloin on riittävää se, että valvoja tai ohjaaja on tavoitettavissa ohjaamosta videokameran välityksellä tarvittaessa. Ilta-aikaan voitaisiin käyttää eräänlaista tiimiä, jotka kulkevat silloin tällöin bussissa kasvattamassa matkustajien turvallisuuden tunnetta. (Korhonen 2017.) Kustannuksia tästä syntyy tietenkin lisää, mutta tässä tapauksessa voitaisiin palvelu ostaa esimerkiksi kyseisen alueen vartiointiliikkeiltä, joidenka tehtäviin vuoron aikana kuuluisi myös bussissa piipahtaminen.

Ei pidä ajatella, että oma valvontahenkilö bussissa olisi pelkkä ylimääräinen kustannustekijä, vaan hän voisi kerätä käyttäjätutkimustietoa liikennöinnistä ja täten kerryttää arvokasta dataa automaattisten bussien käyttäjäkokemuksista. Automaation myötä kustannusrakenne tulee muuttumaan nykyiseen verrattuna enemmän valvontapuolelle. Tämä tarkoittaa kustannuspainopisteen siirtymistä henkilöstökustannuksista valvonta ja järjestelmän ylläpitokustannuksiin, joka tuo mukanaan säästöjä.

5.2.5 Automaation lisääminen nykypäivän ajoneuvoon

Lainsäädännön kautta tulevat reunaehdot sille, mitä pitää löytyä ajoneuvosta tieliikennettä varten (valot, talvirenkaat, vilkut, jarrut jne.). Alustana toimivien ajoneuvojen eri vaatimukset määräytyvät tapaus- ja maakohtaisesti. Kustannusten kannalta on järkevää valita alusta-ajoneuvo, jossa on hyvä ylläpidettävyys, akut ovat helppo vaihtaa, pitkä elinkaari ja luotettavuus. Ajoneuvon ohjelmisto ja sen pohjana oleva laitteisto tulee olla päivitettävissä. Rajapinta tulee olla avoin, mikä sallii Robusta-laitteiston tai muun vastaavan ulkoisen komponentin fyysisen tai ohjelmallisen kytkeytymisen ajoneuvon omaan järjestelmään. Fyysinen kytkeytyminen tarkoittaa sitä, ettei tarvitse purkaa ajoneuvoa täysin osiin, jotta siihen on mahdollista kytkeä uusi laitteisto. Ohjelmallinen kytkeytyminen tarkoittaa sitä, että ajoneuvo sallii kytkeä ohjelmatasolla uusia komponentteja rajapintaan. (Alm 2017.)

On vaikeaa arvioida kuinka paljon automaation lisääminen ”tavalliseen” autoon maksaa todellisuudessa, mutta IHS Automotive on tehnyt joitakin arvioita. IHS:n mukaan lisäkustannukset sille, että ajoneuvoon lisätään automaation mahdollistava teknologia ovat 6 500 euron – 9 000 euron välillä per auto vuonna 2025 (Neiger 2016).

Automaation mahdollistavan Robusta-laitteiston liittämisen kustannukset alustana toimivaan ajoneuvoon riippuu ajoneuvosta itsestään. Jos valitsemme ajoneuvoksi pikkubussin, joka on kykenevä automaatiokäyttämiseen ja Robusta-laitteisto tarjoaa etämonitoroinnin, sekä valvonnan, niin mahdollistavan laitteiston tuotantokustannukset ei pitäisi olla kallis. Robusta-laitteiston, joka hoitaa tietoliikenteen bussin ja etävalvomon välillä, kustannukset ovat tuhansien eurojen luokkaa. (Alm 2017.)

Jos Robusta-laitteiston sarjatuotanto aloitettaisiin tulevaisuudessa, niin on hyvin todennäköistä, että laitteiston tuotantokustannukset painuisivat alhaisemmaksi. Alm arvioi, että Robusta-laitteistolla itsessään ei tehdä tuottavaa liiketoimintaa, vaan laitteistoa ympäröivällä palvelupaketilla. Palvelupakettiin kuuluisi tietoliikenteen kokonaisratkaisu, tietoturva, etävalvonta ja hallintapalvelut. (Alm 2017.)

Robusta-laitteiston auditointi, varmistaminen ja tietoturva, sekä softapäivitykset saattavat nostaa hintaa. Myös ajoneuvon valinnalla on tärkeä osa hintaa määritellessä. Jos ajoneuvo ei ole kykenevä automaation toteuttamiseen, vaan Robusta-laitteiston lisäksi pitää asentaa esimerkiksi kameroita etämonitorointia varten, niin kustannukset nousevat. Ammattimaisten kameroiden hinnaksi on arvioitu noin 1 000 euroa, sillä laatuva-

timukset ovat paljon tiukemmat, kuin kymmenesosan maksaville harrastajakameroille. (Alm 2017.)

Sensoreiden, kameroiden ja muiden laitteiden päälle tulevat myös asennuskustannukset. Nämä vaihtelevat reilusti siitä, että onko ajoneuvossa jo automaation mahdollistavaa teknologiaa, sekä siitä suoritetaanko laitteiden asennus bussivalmistajan tehtaalla osana tuotantolinjaa vai asennetaanko automaatioteknologia jälkikäteen. (Alm 2017.)

Palvelupaketin hinta ja kysyntä määräytyvät markkinoiden mukaan. Robusta-palvelupaketin niin sanottu oikea hinta määräytyy vain sen hyödyn tai arvon kautta. Tuotantokustannukset saattavat olla pienemmät tai isommat kuin se hinta, jonka asiakkaat ovat valmiita maksamaan. Pelkästään tuotanto- ja valmistuskustannusten perusteella ei voida määritellä palvelupaketille hintaa.

5.2.6 Kustannuspainopisteen muutokset valvontapuolella

Kustannuspainopiste muuttuu kuskittomuuden myötä enemmän valvontaan ja sen vaatimaan kalustoon, vaikka tarvitsemme kenttähenkilöstöäkin. Tässä osiossa käyn yleisesti läpi sitä mitä kustannuksia automaatio, sekä valvontapuoli tuo mukanaan.

Automaatio tuo mukanaan kustannuksia joita ei juurikaan nykyisessä pienbussiliikenteessä ole. Kun suunnitellaan *last-mile* reittiä, jossa automaattibussi liikkuu, niin monissa tapauksissa täytyy tehdä muutoksia infrastruktuuriin, ennen kuin prosessi voidaan aloittaa ja reitti ottaa käyttöön. Tieinfraan voidaan joutua tekemään muutoksia, kuten kadunvarsipysäköinnin siirtämistä, liikennevalomuutoksia, erilaisten liikennemerkkien muutoksia sujuvuuden parantamiseksi, mahdolliset uudet pysäkkipaikat automaattisille busseille, sekä latausasemien pystytys.

Automaattibussi liikkuu erilaisilla komennoilla. Ohjelmistolisenssit joilla komentoja annetaan ja määritellään, tuovat vuositasolla kustannuksia. Ohjelmistolisenssien lisäksi valvontalaitteiston, monitoroinnin ja ohjausalustan järjestelmäkustannukset tulee ottaa huomioon. Valvontalaitteiston kustannukset riippuvat ajoneuvojen määrästä, sekä siitä, kuinka monta valvojaa tai ohjaajaa valvontakeskuksessa on.

Vaikka automaattisia pikkubusseja voidaan huoltaa ja korjata niin kuin muitakin ajoneuvoja, niin automatiikka ja sensorit tuovat mukanaan lisäkustannuksia. Sensoreiden huoltaminen ja toimintavarmuuden varmistaminen ei onnistu perinteisellä nyrkkipajalla,

vaan tätä varten joudutaan käyttämään erityisasiantuntijoita, joilla on vahva pohja automatiikasta. Lisäkustannuksia syntyy myös tämän koko edellä mainitun järjestelmäkonaisuuden ylös ajosta ja toimintavarmuuden testauksesta, ennen kuin se voidaan ottaa yleiseen käyttöön.

6 Robusta järjestelmän ja nykyisen mallin vertailua

Tässä osiossa käsitellään sitä, mikä Robusta järjestelmä on, kuinka se aiotaan toteuttaa käytännössä ja minkälaisia kustannuksia siihen liittyy. Käydään läpi myös sitä, kuinka eri pikkubussivalmistajien bussit tai bussien käyttövoima, vaikuttavat ajokustannuksiin esimerkkireitillä. Esimerkkitapauksen avulla havainnollistetaan se, mitä maksaa, mikä maksaa ja kuinka paljon kustannukset muuttuvat eri pikkubussityyppien välillä.

Robusta järjestelmä on toimittajaneutraali järjestelmä, joka tarkoittaa sitä, ettei se ole ajoneuvon valmistajasta riippuvainen. Robusta laitteisto itsessään ei ole kovin iso. Ajoneuvossa olevan automaation mahdollistavan moka voi olla noin 20 cm³ kokoinen. Itse laitteeseen liitettävien oheislaitteiden määrä ja liitäntätapa suurentavat joissain tapauksissa mokaan fyysistä kokoa. (Alm 2017.) Ensimmäiset ajoneuvoon tehtävät asennukset tehdään mahdollisesti Navy Arma automaattibussiin tai vastaavaan.

Automaattibusseja on mahdollista ostaa tai hankkia leasing periaatteella. Hankintahintahaitari on 200 – 250 tuhannen euron tietämillä. Leasing hankintahinta on 7 – 10 tuhatta euroa kuukaudessa. Automaattibussin hankinnan yhteydessä on välttämätöntä ostaa ylläpitosopimus, joka kattaa huollot, ohjelmistopäivitykset ja muut ajoneuvon hallintaan liittyvät tekijät.

Henkilökuntaa bussin operoimiseen etänä tarvitaan alkuvaiheessa 1 per ajoneuvo, mutta melko nopeasti voidaan realistisesti ajatella kasvattavan bussien määrää ainakin viiteen per etävalvoja. Lainsäädännöllistä rajaa sille kuinka montaa bussia yksi henkilö saa ohjata etänä, ei ole. Henkilökunnan tarve riippuu automaattibussin toiminta-asteesta.

Robustan on tarkoitus liikennöidä *last-mile* alueella, osana suurempaa joukkoliikennekokonaisuutta. Esimerkkinä tällaisesta *last-mile* alueesta on Espoossa sijaitseva Ota-niemi.

Robusta ajoneuvojen arvioitu käyttöikä ja pitoaika olisi noin 7 vuotta. HSL sopimukset liikennöitsijöiden kanssa ovat tyypillisesti 7 vuoden mittaisia. Tosin huomionarvoista on myös se, että HSL pienkaluston sopimuskaudet ovat joltakin osin 5 vuoden mittaisia. Teknologian kehitys ajoneuvopuolella on huimaa, joten voidaan olettaa, että kalusto vanhenee nopeammin, vaikka ohjelmistoja päivitetäisiinkin aktiivisesti.

6.1 Esimerkkivertailu pikkubussien välillä

Tässä osiossa tehdään kustannuslaskelmia nykyisen pienkaluston, sekä automaattisten pikkubussien välillä esimerkkitäällä. Valitsin tätä kustannusvertailua varten *last-mile* reitin, joka kulkee Jätkäsaaren – Ruoholahden väliä.

Alla oleva taulukko 8 esittää kootusti ja bussityypeittäin lajiteltuna kustannukset, jotka syntyvät ajettaessa esimerkkireittiä yhdellä bussilla:

Taulukko 8. Kustannuserottelu bussityypeittäin.

Pikkubussityyppi	Kilometrikustannus €	Tuntikustannus €	Kalustopäiväkustannus €	Yhteensä €
Diesel	27,60	110,85	193,12	331,57
Sähkö (LiFePO)	20,10	110,85	193,12	324,07
Automaattinen (LiFePO)	18,90	22,17	193,12	234,19

Laskelmat perustuvat pienkaluston yksikkökustannuksista kokoamiini tietoihin. Kuten aikaisemmista osioista tiedämme; sähkökäyttöisten bussien kilometrikustannukset ovat halvempia, kuin dieselistä käyttövoimansa saavat. Myös automaatiotekniikka laskee kustannuksia hiukan. Tuntikustannuksia varten olen ottanut keskiarvon eri pienkalustoliikennöitsijöiden tuntikustannuksista. Automaattibussin tuntikustannusarvio on laskettu sen mukaan, että yksi etävalvoja ohjaa viittä eri bussia samaan aikaan. Kalustopäiväkustannusten osalta olen myös ottanut keskiarvon. Tämä antaa riittävän tarkan arvion, jota voidaan käyttää tässä kustannuslaskelmassa.

Alla olevasta taulukossa 9 on laskettuna kustannukset 260 arkivuorokauden aikana yhdelle bussille:

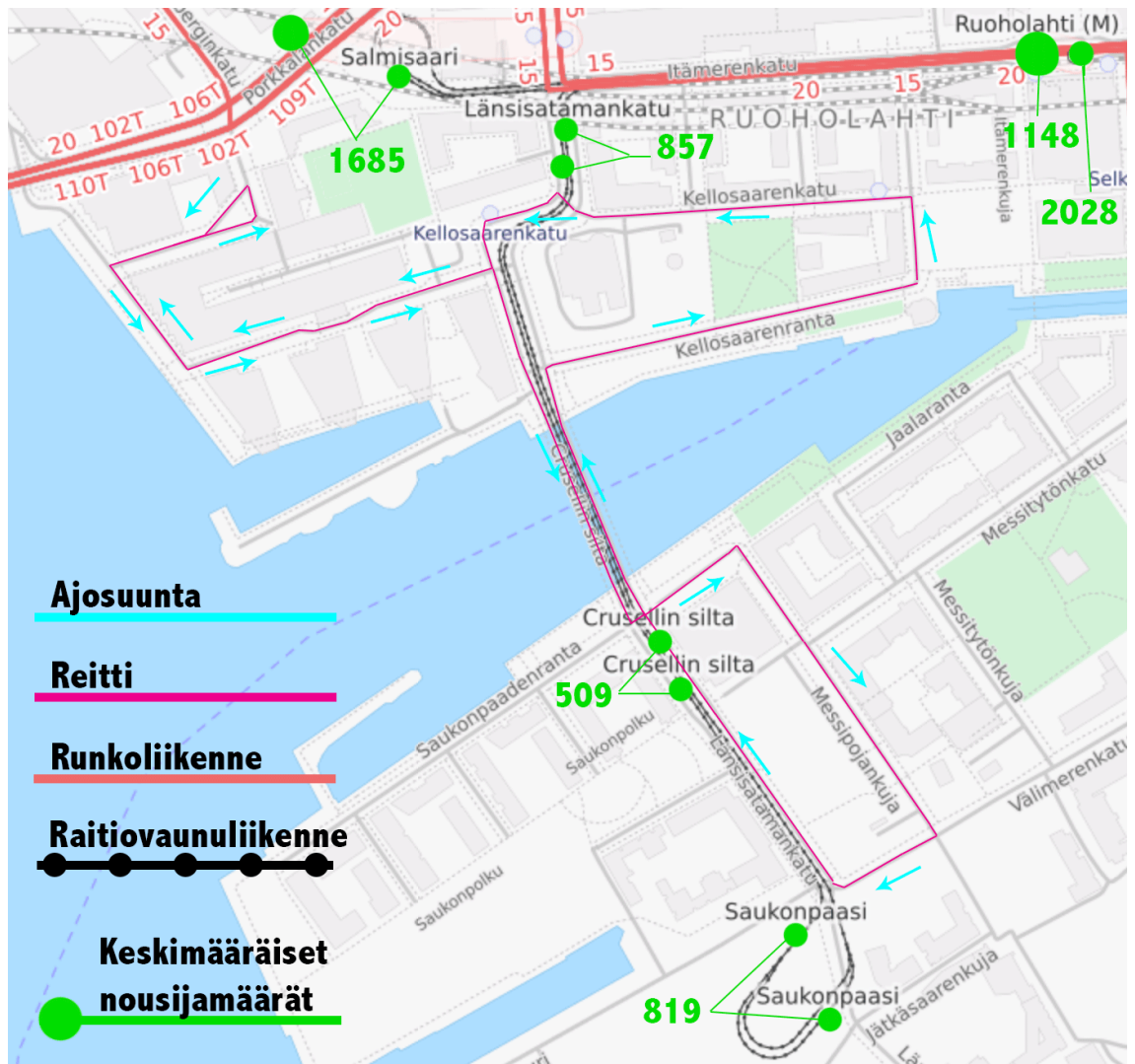
Taulukko 9. Kustannuserottelu 260 arkivuorokauden aikana bussityypeittäin.

Pikkubussityyppi	Kilometrikustannus €	Tuntikustannus €	Kalustopäiväkustannus €	Yhteensä €
Diesel	7176,00	28821,00	50211,20	86208,20
Sähkö (LiFePO)	5226,00	28821,00	50211,20	84258,20
Automaattinen (LiFePO)	4914,00	5764,20	50211,20	60889,40

Automaation tuoma kokonaissästö vertailukohteena käytettävään dieselpikkubussiin on 29,37 prosenttia. Tarkastellessa tuntikustannuksien tuomaa säästöä, voidaan huomata, että se on merkittävä. Kustannussäästöt ovat tältä osin 80 prosenttia. Tässä työssä käydään myöhemmin yhteenvedossa tarkemmin läpi kustannussäästöjä, sekä esitellään taulukkomuodossa kustannussäästökohteet eri pikkubussityyppien välillä.

6.1.1 Matkustajamäärät

Alla olevaan kuvioon 3 on kerätty bussi- ja raitiovaunuliikenteen pysäkkien keskimääräiset nousijamäärät arkisin. Tiedot olen saanut HSL:n joukkoliikennesuunnittelija Petteri Kantokarin ja Natalia Berezinan ansiosta (Kantokari 2017; Berezina 2017).



Kuvio 3. Karttapohja (OpenStreetMap 2017).

Arkipäivien keskimääräiset nousijamäärät perustuvat maaliskuun ja marraskuun 2016 keskiarvoihin. Tästä kuvasta jää ulkopuolelle Länsiväylän bussipysäkkien nousijamäärät, joidenka keskiarvot ovat 2222 henkilöä (Kantokari 2017; Berezina 2017).

Ruoholahden metroaseman nousijamäärät eivät ole ylläolevassa kuvassa. Metroaseman arkipäivän keskiarvot ovat esitetty alla olevasta kuviosta 4.

marraskuu 2016	17 381 nousijaa
toukokuu 2017	17 222 nousijaa
kesäkuu 2017	16 022 nousijaa

Kuvio 4. Ruoholahden metroaseman nousijamäärät (Kantokari 2017; Berezina 2017).

Arkipäivien keskimääräisten nousijamäärien perusteella voidaan pitää hyvinkin realistisena sitä, että bussi pystyy liikennöimään *last-mile* -alueella täydellä kapasiteetilla. Kun bussi liikennöi maksimikapasiteetilla koko ajopäivän, niin kustannukset kilometriosalta per matkustaja jakautuvat seuraavasti taulukon 10 mukaisesti:

Taulukko 10. Matkustajakustannus euroissa kilometriosalta.

Pikkubussityyppi	Matkustajakustannus € per km
Diesel	0,464
Sähkö (LiFePO)	0,453
Automaattinen (LiFePO)	0,327

HSL:n tilaamassa liikenteessä pikkubusseilla ajetaan lähes pelkästään vain melko kevyttä palvelulinjatyyppistä liikennettä, missä suoritteet jäävät pieniksi. Täten ei voida tehdä suoraa vertausta matkustajasta kilometriä kohti syntyvää keskimääräistä kustannusta pikkubussien ja normaalikokoisten bussien välillä. Vuonna 2011 täysikokoisten bussien osalta matkustajakustannus kilometriltä oli 0,23 euroa (HSL 2012, 28).

Ajoneuvojen käytölle talviolosuhteissa on edelleen ongelmia, joten esimerkkireitin pääasiallinen kysyntä on kausittaista eikä ajoitu talviaikaan. Talviolosuhteiden toimivuus vaatii kehitystä ja testattujen ratkaisuiden löydyttyä ne voidaan ottaa käyttöön ja täten jatkaa liikennöimistä myös talviaikaan.

6.1.2 Automaattibussin kustannukset esimerkkireitin ympärillä

Saadaksemme todellisen käsityksen uuden ajoreitin perustamiskustannuksista, niin voimme hyödyntää automaatiobussien valmistajilta tulleita tarjouksia bussin toimittamisesta kyseiselle reitille. Käsittelen taulukossa 11 vertailupohjana kahta eri valmistajaa, jotka ovat jättäneet omat tarjouksensa. Taulukon 11 tiedot ovat monilta osin salassa pidettäviä, joten siitä syystä käytän valmistajien osalta termejä Valmistaja A ja Valmistaja B. (Manufacturer A&B 2017.)

Taulukko 11. Tarjouskilpailu valmistaja A sekä valmistaja B (Manufacturer A&B 2017).

	Valmistaja A		Valmistaja B
Ensimmäinen vuosi:			
Bussin hinta	200 000 €		236 000 €
Prosessin pystytys	17 500 €		3 000 €
Ohjelmistolisenssit / vuosi	10 000 €		10 800 €
Valvonta	6 000 €		7 200 €
Huolto	12 000 €		---
Vuosittaiset kustannukset seuraavina vuosina:			
Ohjelmistolisenssit / vuosi	10 000 €		10 800 €
Valvonta	6 000 €		7 200 €
Huolto	12 000 €		12 000 €
Lisäkustannuksia:			
Käyttöönotto	17 500 €		9 000 €
Langaton latausasema	Ei sisälly		Sisältyy

Täytyy ottaa huomioon, että yllä olevan taulukon 11 hinnat ovat hankintakohtaisia hintoja kyseiselle reitille. Prosessin pystytykseen sisältyvät ajoreitin mallin perusteella tehtävä kustannusarvio reitin pystyttämisessä. Kustannukset vaihtelevat todella paljon riippuen valmistajasta. Yllä olevasta taulukosta 11 voimme huomatakin, että ero näiden kahden valmistajan välillä on 14 500 euroa. Vuosittaiset lisenssit ja ohjelmistopäivitykset kulantavat Valmistaja A:lla 10 000 euroa ja Valmistaja B:llä 10 800 euroa / vuosi.

Valvonnasta syntyvät kustannukset vaihtelevat hieman, mutta kovin suurta eroa ei synny valmistajien välillä. Valmistaja A tarjoaa valvonnan 6 000 eurolla vuodessa, sekä Valmistaja B 7 200 eurolla vuodessa. Valvonnalla tarkoitetaan tässä tapauksessa bus-siryppään monitorointia, sekä videokuvaa ulko- ja sisäpuolelta (Santamala 2017b). Työssä aiemmin mainittu BestMile -yritys, joka tuottaa ohjausalan, jolla on mahdollista operoida ja optimoida erilaisia automaattisen liikkumisen palveluita, on hyvä esimerkki vastaavasta palvelusta.

Ajoneuvon huoltokustannukset ovat arvioitu samoiksi molemmissa tarjouksissa. Ylläpitokustannuksissa ei ole tehty kilometri- tai aika-rajausta. Harri Santamala uskookin sen johtuvan siitä, että bussin käyttömäärät ovat hintaan nähden niin vähäiset, että valmistaja ei usko jäävänsä tappiolle, vaikka ajettaisiinkin kokonaisia päiviä (Santamala 2017b).

Lisäkustannuksia syntyy käyttöönottokustannuksista, sekä langattomasta latausasemasta. Käyttöönottokustannukset vaihtelevat 9 000 euron ja 17 500 euron välillä riippuen valmistajasta. Langattoman latausaseman hinta on sisällytetty Valmistaja B:n bussin hankintahintaan.

Taulukossa 12 on jaoteltu bussista syntyvät kustannukset ensimmäisenä vuonna, sekä vuosittaiset kustannukset seuraavina vuosina.

Taulukko 12. Automaattibussin kustannukset vuositasona.

	Valmistaja A		Valmistaja B	
Ensimmäinen vuosi:	63 000 €		30 000 €	
Seuraavat vuodet:	28 000 € / vuosi		30 000 € / vuosi	

On realistista ajatella, että bussi tulisi liikennöimään arkisin kesäaikaan 6 kuukautta vuodessa. Tämä tekee noin 128 arkipäivää. Ajopäiväkohtaiset kustannukset jakautuvat seuraavanlaisesti taulukon 13 mukaan:

Taulukko 13. Automaattibussin ajopäiväkohtaiset kustannukset.

	Valmistaja A		Valmistaja B	
Ensimmäinen vuosi :	492,19 € / päivä		234,38 € / päivä	
Seuraavat vuodet:	218,75 € / päivä		234,38 € / päivä	

Kuten taulukosta 13 ilmenee, Valmistaja B:n kustannukset ovat reilusti halvemmat ensimmäisenä vuotenaan, kuin Valmistaja A:n. Seuraavina vuosina Valmistaja A:n päiväkohtaiset kustannukset putoavat hiukan Valmistaja B:n alapuolelle.

Käsite "nousu" tarkoittaa joukkoliikenteen käyttäjän yhdellä linjalla tekemää, pysäkillä/asemalta vaunuun nousua ja vaunusta poistumisen rajaamaa kulkemista (HSL 2012, 13). Tällä esimerkkireitillä Valmistaja A:n kustannus per nousu on ensimmäisenä vuonna 1,90 euroa ja muina vuosina 0,84 euroa per nousu. Valmistaja B:n kustannus per nousu on ensimmäisenä ja seuraavina vuosina 0,90 euroa per nousu. Vertailun vuoksi

HSL:n tilaamassa liikenteessä vuonna 2011 syntyi kustannuksia bussiliikenteessä 1,55 euroa per nousu (HSL 2012, 28).

Tämän kyseisen kustannuslaskennan perusteella automaattibussin kustannukset kilometriosalta per matkustaja jakautuvat taulukon 14 mukaan seuraavasti, jos automaattibussi liikennöi maksimikapasiteetillaan koko ajopäivän:

Taulukko 14. Automaattibussin kustannukset kilometriosalta per matkustaja.

	Valmistaja A	Valmistaja B
	Matkustajakustannus € per km	Matkustajakustannus € per km
Ensimmäinen vuosi:	0,688	0,328
Seuraavat vuodet:	0,306	0,328

Tässä vaiheessa kustannuksiin ei ole lisätty henkilökunnasta syntyviä kustannuksia. Alkuvaiheessa henkilökustannukset ovat samaa luokkaa, kuin ajettaisiin ei automaattisella bussilla, sillä tätä yhtä bussia varten tarvitaan yksi henkilö valvomaan sen toimintaa. Toiminnan edetessä voidaan kasvattaa reittien ja bussien määrää ja täten alentaa tuntikustannuksia huomattavasti alemmas, varovaisten arvioiden mukaan ainakin viidesosaan lähtötilanteesta.

Henkilökunnasta päivän aikana syntyvät tuntikustannukset olisivat siis alussa 110,85 euroa. Myöhemmin vuonna 2021 ne olisivat 22,17 euroa. On tehty arvioita joidenka mukaan vuonna 2021 olisi mahdollista yhden ihmisen ohjata viittä eri bussia (Huhta 2017, 70).

Alla olevaan taulukkoon 15 on sijoitettu henkilökunnasta syntyvät kustannukset tällä kyseisellä esimerkkireitillä.

Taulukko 15. Henkilökustannuslisä.

Henkilökuntakustannuslisä € per bussi	Vuonna 2017	Vuonna 2021
Vuositasolla	14 188,80 €	2 837,76 €
Päivätasolla	110,85 €	22,17 €
Matkustajakustannus € per km	0,155 €	0,031 €

Vuositasen kustannukset ovat laskettu kertomalla päivätason henkilökuntakustannukset vuosittaisella ajomäärällä, joka on 128 päivää. Päivätason kustannukset ovat pienkalustoliikennöitsijöiden tuntikustannusten keskiarvo.

6.2 Yhteenveto reitin kustannuksista

Olen koonnut alapuolelle yhteenvetona kustannuksista, jotka syntyvät Jätkäsaaren – Ruoholahden välillä liikennöiville *last-mile* ajoneuvoille. Todellisten kustannusten laskeminen tässä tapauksessa on vaativaa, sillä loppupeleissä kyse on siitä, että onko ottanut huomioon kaikki kustannustekijät vai ei. Alla oleva yhteenveto koostuukin monien luotettavien lähteiden kautta keräämästäni tiedosta.

Monista lähteistä saamani datan määrän takia olenkin päätenyt esittämään yleisellä tasolla yhteenvedon, jota voidaan käyttää laskiessa eri reittien kannattavuutta. Tämän lisäksi teen syvemmän yhteenvedon automaattisesta näkökulmasta nimenomaan tälle kyseiselle Jätkäsaari – Ruoholahti reitille. Alla oleva taulukko 16 kertoo kustannussäästöprosentin verrokkina olevaan dieselikäyttöiseen pikkubussiin nähden.

Taulukko 16. Kustannussäästöprosentit bussityypeittäin.

Pikkubussityyppi	Kilometrikustannus €	Tuntikustannus €	Kalustopäiväkustannus €	Yhteensä €
Diesel	27,60	110,85	193,12	331,57
Sähkö (LiFePO)	20,10 (- 27,17 %)	110,85	193,12	324,07 (- 2,26 %)
Automaattinen (LiFePO)	18,90 (- 31,52 %)	22,17 (- 80,00 %)	193,12	234,19 (- 29,37 %)

Nykyisellä dieselikäyttöisellä pienkalustolla toteutettuna tulee liikennöinti maksamaan päivän (3,75 tuntia) aikana yhteensä 331,57 euroa. Sähköikäyttöisellä bussilla saadaan alennettua kilometrikustannuksia 27,17 prosenttia, mutta jos tunti- ja kalustopäiväkustannukset pysyvät samoina kuin dieselistä käyttövoimansa saavat, niin kokonaissäästö jää 2,26 prosenttiin. Automaattibussilla saadaan laskettua kilometrikustannuksia 31,52 prosenttia. Toimivalla järjestelmällä, sekä vakiintuneilla reittikäytännöillä on mahdollista ohjata yhden henkilön viittä eri bussia, jolloin tuntikustannukset tulevat tippumaan 80 prosenttia. Kalustopäiväkustannusten ollessa samaa luokkaa muiden pikkubussityyppien kanssa, niin kokonaissäästö on 29,37 prosenttia.

Verrataan seuraavaksi taulukossa 17 sitä, kuinka hyvin tämä yleisen tason kustannuslaskelma vastaa juuri tälle esimerkkireitille järjestettyyn tarjouskilpailuun osallistuneiden valmistajien hintoja. Olen tässä yhteenvedossa käyttänyt arvoja, jotka ovat ajallisesti

toisen vuoden ja siitä eteenpäin olevia kustannuksia. Halutessaan tarkempaa tietoa valmistajien ensimmäisen vuoden kustannuksista, niin ne löytyvät edellisistä osioista.

Tarkastellaan ensimmäiseksi päivätasolla kustannuseroja taulukossa 17:

Taulukko 17. Päiväkustannukset euroissa bussityypeittäin.

Pikkubussityyppi	Päiväkustannus €
Diesel	331,57
Sähkö (LiFePO)	324,07
Automaattinen (LiFePO)	234,19
Valmistaja A	240,92
Valmistaja B	256,55

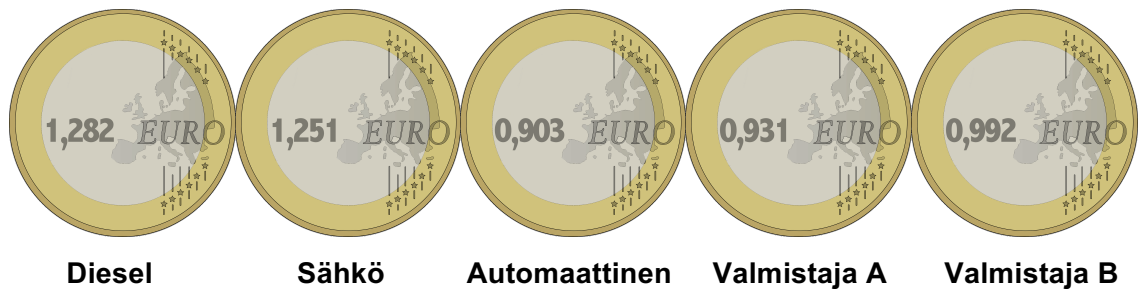
Dieselpikkubussiin nähden molemmat valmistajat tarjoavat halvempaa ratkaisua, kuin polttomoottorivaihtoehto. Valmistaja A:n automaattiset pikkubussit tuovat 27,34 prosentin säästön. Valmistaja B:n tuoma säästö sen sijaan on 22,63 prosenttia. Molempien valmistajien kustannukset ovat myös halvempia, kun verrataan sähkökäyttöisiin pikkubusseihin, joissa ei ole automatiikkaa. Valmistaja A:n kustannussäästö tähän verrattuna on 25,66 prosenttia. Valmistaja B:n säästö verrattuna sähkökäyttöiseen kuskilliseen pikkubussiin on 20,84 prosenttia. Sekä Valmistaja A:n, että Valmistaja B:n päiväkohtaiset kustannukset ovat kalliimpia, kuin yleisen tason yhteenvedon automaattibussin päiväkustannus. Syynä kustannuslaskennassa syntyneeseen kalliimpaan hintaan voidaan pitää valmistajien A ja B asettamaa määrittelemätöntä kilometrimäärää tai ajoaikaa vuositasona.

Alla olevaan taulukkoon 18 on koottu eri pikkubussien kustannukset kilometriasalta per matkustaja:

Taulukko 18. Matkustajakustannukset euroissa kilometriasalta.

Pikkubussityyppi	Matkustajakustannus € per km
Diesel	0,464
Sähkö (LiFePO)	0,453
Automaattinen (LiFePO)	0,327
Valmistaja A	0,337
Valmistaja B	0,359

Kustannukset kilometriosalta vaihtelevat pikkubussityypin mukaan 0,327 eurosta – 0,464 euroon asti. Pikkubussin liikennöidessä täydellä kapasiteetilla, tulisi yksi kokonainen kierros maksamaan seuraavasti per matkustaja kuvion 5 mukaan:



Kuvio 5. Kokonaisen kierroksen hinta per matkustaja.

7 Johtopäätökset

7.1 Johtopäätökset

Tässä työssä tarkasteltiin automaattisten bussien kustannusrakennetta osana nykypäivän ja tulevaisuuden joukkoliikennejärjestelmää. Tämän lisäksi käsiteltiin tarkemmin kustannuslaskennan eri osa alueita, ja luotiin kustannusanalyysi tosielämän *last-mile* reittiin pohjautuen. Tässä työssä vahvana pohjana toimi Robusta-hankkeessa mukana olleiden yritysten kautta saamani tieto, taito ja tuki.

Tämän työn aikavälilliseksi rajaukseksi valittiin 5 – 7 vuotta. HSL kilpailuttaa linjansa seitsemäksi vuodeksi kerrallaan, mutta pienkalustoliikenteessä käytännössä sopimuskauden pituus on viisi vuotta. Tämän liukuvaan tarkasteluajanjakson aikana automaattibussit alkavat siirtyä yhä enemmän pilottihankkeista kaupallisempaan suuntaan ja alkavat muovata paikkaansa runkolinjoja tukevaksi *last-mile* kokonaisuudeksi.

Pääkaupunkiseudulla lähes puolet ihmisistä käyttävät työmatkaansa omaa autoa eivätkä julkisen liikenteen palveluita. Tähän syynä on *last-mile* –ongelmaksi kutsuttu termi, jossa ihminen kokee bussipysäkin tai aseman sijaitsevan liian kaukana lähtöpisteestään tai määränpäästään. Juuri tähän ongelmaan automaattisten pikkubussien rypäs tuo ratkaisun. Suomi on lainsäädännöllisesti etuoikeutetussa asemassa, sillä monissa maissa lainsäädäntö rajoittaa pilotti- ja muiden hankkeiden osalta testauksen suljetuille

alueille / teille. Suomessa meillä on mahdollisuus viedä onnistuneet pilottihankkeet liikenteeseen käyttöön ja täten olla älyliikennekokonaisuuden eturintamalla.

Tiivistettynä voisin sanoa syyn miksi automaattisia pikkubussiratkaisuja kehitetään: halutaan luoda mahdollisimman joustava, kustannustehokas ja loppukäyttäjää hyvin palveleva kuljetusmuoto, joka on ympäristöystävällinen, sekä toimii samalla uuden teknologian julkaisualustana.

Yhtä oikeaa tulevaisuuden ennustetta on vaikea antaa, mutta varmaa on se, että joukkoliikenteen nykyinen kustannusrakenne tulee muuttumaan tulevaisuudessa. Poltto- ja voiteluainekustannukset muuttuvat energian hinnan ja akuston kustannuksilla. Kilometrikustannukset akuston osalta riippuvat tarvittavasta akkukapasiteetista ja reitin mukaan valittavasta akkutyypistä. Sähköistymisen ja automaation yleistymisen myötä myös automaattibussien latausasemien kustannukset tulee ottaa huomioon. Automaattibussin huoltokustannukset ovat myös hiukan alemmat, verrattuna manuaaliohjattavaan sähköbussiin. Nykyisellään automaattibussin anturit muodostavat 30 000 – 40 000 euron kustannukset, jotka tulevat laskemaan tulevaisuudessa. Arvioitiin, että lidar-sensoreiden hinnanpudotus poistaa yhden pullonkaulan automaattibussin kokonaishinnan suuruudesta.

Etävalvomon laitteistokustannukset ovat muihin kustannuksiin nähden verrattain pienet. Tämän lisäksi tulee kustannuksiin laskea mukaan valvontajärjestelmän ja eri ohjelmien vuosilisenssit. Nämä kustannukset ovat vaihtelevat toimijasta ja reitistä riippuen. Voidaan kuitenkin vuositasolla puhua kymmenistä tuhansista euroista.

Vaikka automaatio poistaa kuljettajan ajoneuvosta, se ei silti tarkoita välitöntä työpaikkojen menettämistä linja-autonkuljetusalalla. Alkuvaiheessa henkilökustannukset säilyvät nykyisellään, sillä automaattisissa busseissa tarvitaan opasta, joka neuvoa matkustajia ja kerää tietoa matkustuskokemuksesta. Lisäksi bussien etähallintaan ja niiden seurantaan tarvitaan henkilöstöä, jolloin voitaisiin siirtää ainakin osa kuljettajista näihin tehtäviin. Pidemmällä aikavälillä tarkastellessa henkilöstökustannukset tulevat putoamaan ainakin viidesosan, sillä etävalvojan työtehtävät mukaantuvat rutiinitoimenpiteiksi, joissa bussi tietää mitä tehdä. Valvoja vain valvoo toteutusta ja henkilöstön määrää voidaan pienentää. Liikennevakuutuskorvaukset tulevat pienenemään tulevaisuudessa. Pienemisen arvioitiin alkavan 2020-luvun alkupuolelta lähtien.

Tutkimuskysymykseeni tämä työ vastasi luvussa 6 tarkastelemalla automaattisten bussien kustannuksia ja vertaamalla niitä nykyisen kaluston kustannuksiin esimerkkireitin avulla. Kokonaiskustannuksiltaan automaattiset bussit ovat lähes 30 prosenttia kustannustehokkaampia, kuin dieselkäyttöinen pienkalusto. Suurin säästö syntyi tuntikustannusosasta, joka oli 80 prosenttia alhaisempi, kuin kuskin omaavalla ajoneuvolla. Tähän säästöprosenttiin ei päästä lyhyellä tähtämellä, sillä uusi teknologia vaati myös paljon työtä ja opastusta itse busseissa. Pitkällä tähtämellä on hyvinkin realistista tavoittaa ainakin 80 prosentin tuntikustannussäästö nykyiseen verrattuna. Teknologian luotettavuuden ja kustannusten alenemisen myötä suurimmat pullokaulat saadaan poistettua, jolloin kalustokustannukset tulevat laskemaan pidemmällä aikavälillä. Tämä alentaa myös elinkaarikustannuksia ja tuo kustannussäästöjä pikkubussin elinkaaren eri vaiheisiin.

Haasteita syntyy nykypäivänä erityisesti sensoriteknologian saralla. Pöly aiheutti satunnaisia ongelmia ympäristön havaitsemisessa lasersensoreiden avulla. Automaattibussien talviolosuhteet vaativat myös kehitystyötä. Nykytilan lidar-sensorit eivät vielä vastaa olosuhteita, joita lumi ja lumihitaleet aiheuttavat. Sääolosuhteet tulee ottaa huomioon myös akkukapasiteettia suunnitellessa. Lämpimillä keleillä ilmastointi lyhentää ajoneuvon toiminta-aikaa virrankulutuksen kasvun myötä. Kylmillä keleillä lisälämmitys tuo kustannuksia, jotka tulee ottaa talviolosuhteita miettiessä huomioon. Haasteita syntyy 4G -teknologialla erityisesti videokuvan välittämisen nopeuden varmistamisesta autosta etävalvomoon. Automaatiota voidaan ohjata nykyisellään 4G -verkon yli, mutta 5G-teknologia tuo tähän luotettavamman ratkaisun.

Kaiken kaikkiaan automaattisten bussien ansiosta meillä on täysin uudenlaisia mahdollisuuksia luoda joustava, kuluttajien tarpeita vastaava, tarkka, integroidumpi ja kustannustehokkaampi joukkoliikenn rakenne. Toivon tämän työn herättävän keskustelua ja olla innoittajana, sekä tukena uusille automaattibussihankkeille Robustahankkeen rinnalle. Peräänkuulutan yritysysteistyön ja verkostoitumisen merkitystä tällä sektorilla. Sillä ilman maailmanlaajuisia yhteistyötä, meillä olisi vain ajoneuvoja joissa *ei olisi rattia, eikä polkimia ja vain ainoastaan ongelmia.*

7.2 Itsearviointia omasta työstä

Tämä työ vastasi asetettuihin tutkimuskysymyksiin hyvin. Päättökysymykseen saatiin vastaus case-esimerkkireitin ympärille suunnatun kustannuslaskennan avulla. Tut-

kimuskysymystä tukevat vastaukset saatiin tarkastelemalla julkisen liikenteen kustannusrakennetta, sekä ajoneuvojen kustannuslaskentaa, jotka toimivat päätutkimusongelman pohjana.

Työn tulokset pohjautuvat valtaosin eri henkilöiden kautta kerättyjen tietojen hyödyntämisessä kustannuspainotteista raporttia tehdessä. Kustannustiedot olen saanut haastatteleamalla eri alojen asiantuntijoita, joilla löytyy kokemusta joukkoliikenteen tai automaation saralla. Robusta-tiimin sisältä löytyy valtavasti osaamista tästä aihealueesta, joten heidän henkilöhaastattelunsa ja niiden peilaaminen muualta saatuihin kokemuksiin muodostavat yhdessä kattavan kokonaisuuden. Itsestään ajavat bussit ovat sellainen aihealue, jossa täytyy jatkuvasti tehdä erilaisia tutkimuksia eri näkökulmista. Sillä vain etsien ja tietoa louhimalla on mahdollisuus jalostaa tietoa uudelleen ja tarjota se seuraaville tekijöille, jotta he voisivat jatkaa tutkimustyötä joukkoliikenteen automaation parissa.

Automaattisten bussien kustannusrakennetta katsoessa todettiin, että itsestään ajavilla pikkubusseilla on merkittävä kustannussäästö verrattuna nykyisiin dieselpikkubusseihin. Luvussa 6.1 havainnollistettu esimerkkireitti antaa realistisen kuvan kustannuksista eri pikkubussityyppien välillä. Erityisesti automaation mahdollistavien komponenttien tuomat kustannustekijät otettiin tässä työssä mahdollisimman hyvin huomioon. Luvuissa 5.2.4 sekä 6.1.1 tehdyllä henkilöstökustannusarvioilla todennettiin henkilökustannusrakenteen muutosta automaation myötä ja kustannuspainopisteen siirtymistä etävalvonnan suuntaan.

Automaattibussit ovat tulevaisuudessa täysin mahdollinen tapa *last-mile* liikenteen toteuttamisessa. Automaattiset bussit toteuttavat kestävän ja älykkään kaupunkiliikenteen periaatetta Euroopan parlamentin päätöslauselman mukaisesti (Euroopan parlamentti 2017).

Kriittisesti tarkasteltuna työssä käytettyjä tutkimusmenetelmiä, voidaan todeta, että työssä olisi voitu olla vieläkin tiiviimmässä yhteistyössä ulkomaalaisten automaatioajoneuvojen kanssa tekemisissä olevien yritysten kanssa. Vastaavanlaisissa projekteissa mukana olleisiin tahoihin olisi voitu olla yhteydessä ja kysellä heidän havaintojaan ja tuloksia. Haasteena tässä oli kuitenkin se, että monet yritykset ja tahot joihin olin yhteydessä, niin etsivät vastauksia samoihin kysymyksiin kuin minäkin. Tästä syystä heillä ei ollut antaa edes valistuneita arvioita, mutta toivoivat minun saavan kerättyä dataa muuta kautta, samoin kuin hekin. Uskon kansainvälisen tutkimusdatan määrän lisää-

tyvän reilusti ensi vuoden puolella, kun moni taho saa kerättyä lisää dataa omasta toiminnastaan.

7.3 Jatkotutkimukset

Tätä työtä tehdessäni olen tunnistanut jatkotutkimuskohteita, jotka olisivat hyödyksi koko automaattibussitoimialalle. Matkustajien turvallisuudentunteen tutkiminen on tärkeää, jotta voidaan varmistaa se, että ihmiset kokevat automaattiset ajoneuvot turvallisiksi. Olisi tarpeen selvittää miten kuljettajan puuttuminen ohjaamosta vaikuttaa matkustajien kokemaan turvallisuuden tunteeseen, kun ajoneuvossa ei ole auktoriteettia paikalla. Mitkä olisivat parhaat tavat varmistaa matkustajaturvallisuus etenkin ilta- ja viikonloppuaikaan?

Kun automaattibussit yleistyvät, kasvaa myös reitityksen ja infrastruktuurimuutosten suunnittelun tärkeys. Jatkotutkimuskohteena itsestään ajavista busseista johtuen infrastruktuuriin tarvittavien muutosten selvittäminen. Mitkä tekijät tulee ottaa huomioon, kun suunnitellaan automaattibussin reititystä? Mitkä ovat parhaita keinoja reitityksen suunnitteluun ja latausasemien sijoitteluun, sekä miten toteuttaa nämä keinot järkevästi?

Automaattiset bussit tuovat mukanaan uudenlaista liiketoimintaa. On tarpeen tehdä tutkimuksia siitä, mikä olisi toimivin tapa toteuttaa automaattibussipalvelut ja hinnoittelu. Aikaisemmin on tehty käyttäjä tutkimuksia siitä, kuinka paljon ihmiset ovat valmiita maksamaan automaattibussin lipun hinnasta, mutta varmasti jatkotutkimuksille ja erilaisille uusille hinnoittelumalleille on kysyntää. Automaattiset bussit mahdollistavat esimerkiksi joustavan lippuhinnoittelun kysynnän mukaan.

Valvomo on keskeinen osa automaattibussien toimintaa ajatellen. Ergonomisen ja toimivan valvomokokonaisuuden suunnittelu ja toteuttaminen ovat tärkeitä kokonaisuuden kannalta ja toimisi hyvin toiminnallisena työnä.

Olen listannut alla olevaan luetteloon aiheittain mahdolliset jatkotutkimusehdotukset.

- Automaattisten bussien matkustajaturvallisuus (liikenteessä ja bussin sisällä).
- Itsestään ohjautuvien bussien infrastruktuurin ja reittien suunnittelu, sekä latausasemien sijoittelu.

- Automaattibussipalveluiden tuottaminen ja uudet hinnoittelumallit.
- Ergonomisen ja toimivan valvomokokonaisuuden suunnittelu.

Lähteet

Aho, Esko & Lyly, Lauri & Mero, Inka 2017. Liikenne- ja viestintäarkkitehtuuri 2030 ja 2050.

<https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/79795/Raportit%20ja%20selvitykset%207-2017.pdf>. Luettu 7.9.2017.

Airside International 2017. EVA Magazine. Navya: The mobility solution for airports. <http://www.airsideint.com/single-post/2017/02/17/NAVYA-THE-MOBILITY-SOLUTION-FOR-AIRPORTS>. Luettu 10.05.2017.

Alm, Olli 2017. Lehtori. Metropolia Ammattikorkeakoulu, Helsinki. Sähköpostihaastattelu 1.7.2017.

Barber, Megan 2017. Mercedes Just Unveiled a Self-Driving Bus. <http://www.curbed.com/2016/7/26/12289244/mercedes-self-driving-bus>. Luettu 15.5.2017.

Blanco, Sebastian 2017. InsideEVs. Ride in an autonomous Navya Arma shuttle for just 9,500 euros a month. <http://insideevs.com/autonomous-navya-arma-shuttle-lease/>. Luettu 10.05.2017.

CB Insights 2017. 44 Corporations Working On Autonomous Vehicles. <https://www.cbinsights.com/blog/autonomous-driverless-vehicles-corporations-list/>. Luettu 28.5.2017.

Continental 2016. Kuorma- ja linja-auton renkaat. Hinnasto 1.4.2016. Luettu 31.5.2017.

Daimler 2016. The Mercedes-Benz Future Bus - The future of mobility. <https://www.daimler.com/innovation/autonomous-driving/future-bus.html>. Luettu 15.5.2017.

Daimler Media 2017. Daimler lays foundation for one of the biggest and most modern battery factories in the world. Press Release. <http://media.daimler.com/marsMediaSite/en/instance/ko/Daimler-lays-foundation-for-one-of-the-biggest-and-most-modern-battery-factories-in-the-world.xhtml?oid=17464074>. Luettu 11.6.2017.

Demos Helsinki 2017. ROBUSTA. Baseline Understanding of HCI in the Context of AVs. WP 3.1 (7.6.2017.). Luettu 11.7.2017.

Euroopan parlamentti 2017. Yhteinen liikennepolitiikka. http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/fi/displayFtu.html?ftuld=FTU_5.6.1.html. Luettu 7.9.2017.

Fagnant, Daniel & Kockelman, Kara 2015. Preparing a Nation for Autonomous Vehicles: Opportunities, Barriers and Policy Recommendations, The Eno Center for Transportation. <https://www.enotrans.org/wp-content/uploads/2015/09/AV-paper.pdf>. Luettu 25.5.2017.

ForumVirium 2016. Itse ohjautuvat robottibussit Helsingin kaduille SOHJOA hankkeessa. <https://forumvirium.fi/itseohjautuvat-robottibussit-helsingin-kaduille-sohjoa-hankkeessa/>. Luettu 6.7.2017.

Gibson, Alex 2016. Eliminating Public Transit's First-Mile/Last-Mile Problem. <http://transloc.com/eliminating-public-transits-first-milelast-mile-problem/>. Luettu 25.5.2017.

Helen 2017. Sähkön hinnan tiedustelu asiakaspalveluchatista. Luettu 27.6.2017.

Hill, Brandon 2016. IBM Watson Makes The Wheels On The Olli Self-Driving Bus Go Round-And-Round. <http://hothardware.com/news/ibm-watson-is-the-brains-behind-local-motors-olli-self-driving-bus>. Luettu 10.5.2017.

Hirtenstein, Anna 2017. Move Over Tesla, Europe's Building Its Own Battery Gigafactories. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-05-22/move-over-tesla-europe-s-building-its-own-battery-gigafactories>. Luettu 11.6.2017.

HSL 2016. Viisaan liikkumisen kokeilu saa autoilijan muuttamaan rutiinejaan. <https://www.hsl.fi/uutiset/2016/viisaan-liikkumisen-kokeilu-saa-autoilijan-muuttamaan-rutiinejaan-9062>. Luettu 17.6.2017.

Huhta, Riku 2017. Automaattisten pikkubussien hyväksyttävyyys ja kustannusrakenne osana joukkoliikennettä. Diplomityö. Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma. Tampereen teknillinen yliopisto. <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/handle/123456789/24634>. Luettu 17.5.2017.

IBM 2017. Watson Internet of Things. <https://www.ibm.com/internet-of-things/iot-solutions/iot-automotive/>. Luettu 10.05.2017.

Ilmanen, Marjukka 2017. Kannattavuuslaskenta johdon päätöksenteon tukena. <http://www.bonnierpro.fi/fi/app/talous-ja-rahoitus/kannattavuuslaskenta-johdon-paatoksenteon-tukena>. Luettu 28.5.2017.

Kantokari, Petteri & Berezina, Natalia 2017. Joukkoliikennesuunnittelija. HSL - Helsingin seudun liikenne, Helsinki. Sähköpostihaastattelu 18.8.2017.

Korhonen, Ossi 2017. Palvelumuotoilija. Demos Helsinki, Helsinki. Puhelinhaastattelu 30.8.2017.

Lalki 2017. Linja-autoliikenteen kustannusindeksi. Tilastokeskus kustannusindeksit. <http://tilastokeskus.fi/tup/kustannusindeksit/kustannustekijoiden-hintojen-kehitys.html>. Luettu 22.5.2017.

Lassila, Anni 2017. Saksa kehitti säännöt itsestään ajaville autoille. Helsingin Sanomat 14.5.2017, B 19. Luettu 15.5.2017.

Liikenne- ja viestintäministeriö 2017. Liikenne- ja viestintäministeriö. Ministeri Berner: Robotiikka muuttaa liikenteen arvoketjun. <https://www.lvm.fi/-/ministeri-berner-robotiikka-muuttaa-liikenteen-arvoketjun-940364>. Luettu 7.9.2017.

Linja-autoliitto 2016. Linja-autoliiton jäsenyritysten suoritetilastot 2015. [Http://www.linja-autoliitto.fi/media/filer_public/2017/03/31/lal_suoritekalvot_2015_uusi_tiiv.pdf](http://www.linja-autoliitto.fi/media/filer_public/2017/03/31/lal_suoritekalvot_2015_uusi_tiiv.pdf). Luettu 31.5.2017.

Linja-autoliitto 2017. Esite 2016-2017. [Http://www.linja-autoliitto.fi/media/filer_public/2017/03/09/linja-autoliitto_esite2016-17_web_paivitetty_9317.pdf](http://www.linja-autoliitto.fi/media/filer_public/2017/03/09/linja-autoliitto_esite2016-17_web_paivitetty_9317.pdf). Luettu 31.5.2017.

Linjauth 2017. Linja-autohenkilökunnan työehtosopimus 2017 - 2021. <https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0ahUKEwja2eO97KzWAhXBYpoKHZzmBW0QFggrMAE&url=http%3A%2F%2Fwww.finlex.fi%2Fdata%2Ftes%2FPT40Linjauth1702.pdf&usg=AFQjCNEWEeMxl7vRCqNRKkcBTw7I-prRpA>. Luettu 22.5.2017.

Linkker 2017. Linkker - Quality of Life in Cities. [Http://www.linkkerbus.com](http://www.linkkerbus.com). Luettu 16.5.2017.

Litman, Todd. 2017. Victoria Transport Policy Institute. Autonomous Vehicle Implementation Predictions. Implications for Transport Planning. <https://www.vtpi.org/avip.pdf>. Luettu 25.5.2017.

Local Motors 2016. Local Motors debuts "Olli". <https://localmotors.com/posts/2016/06/local-motors-debuts-olli-first-self-driving-vehicle-tap-power-ibm-watson/>. Luettu 10.05.2017.

Manufacturer A&B 2017. Tender Comparison: Autonomous last mile bus.

Makweri, Cécile 2017. Korvauslaskija. Helsingin seudun liikenne – kuntayhtymä (HSL), Liikennepalvelut-osasto, Helsinki. Sähköpostihaastattelu 14.7.2017.

Markkula & Vilppo 2016. Tampereen bussiliikenteen sähköistäminen. https://www.tampere.fi/tiedostot/t/W0CdNZVvf/bussiliikenteen_sahkoistaminen_tauustas_elvitys.pdf. Luettu 30.6.2017.

Meola, Andrew 2016. What is the Internet of Things (IoT). [Http://www.businessinsider.com/what-is-the-internet-of-things-definition-2016-8?r=US&IR=T&IR=T](http://www.businessinsider.com/what-is-the-internet-of-things-definition-2016-8?r=US&IR=T&IR=T). Luettu 14.9.2017.

Ministry of Transport 2016. New Zealand. Testing autonomous vehicles in New Zealand. [Http://www.transport.govt.nz/ourwork/technology/specific-transport-technologies/road-vehicle/autonomous-vehicles/testing-autonomous-vehicles-in-nz/](http://www.transport.govt.nz/ourwork/technology/specific-transport-technologies/road-vehicle/autonomous-vehicles/testing-autonomous-vehicles-in-nz/). Luettu 15.5.2017.

Molitch-Hou, Michael 2016. Meet Olli: The First Autonomous Vehicle Featuring IBM Watson. [Http://www.engineering.com/IOT/ArticleID/12421/Meet-Olli-The-First-Autonomous-Vehicle-Featuring-IBM-Watson.aspx](http://www.engineering.com/IOT/ArticleID/12421/Meet-Olli-The-First-Autonomous-Vehicle-Featuring-IBM-Watson.aspx). Luettu 10.5.2017.

Motiva 2017. Elinkaarikustannuslaskenta – LCC (Life Cycle Costing). [Http://www.motivanhankintapalvelu.fi/tietopankki/elinkaarikustannuslaskenta_lcc](http://www.motivanhankintapalvelu.fi/tietopankki/elinkaarikustannuslaskenta_lcc). Luettu 31.5.2017.

Natalie Roemer & Sarah Jones & Mike Marino & Stephanie Hyland & Grant Southwood 2017. Electric Autonomous Vehicle Case Study Analysis. AEDE 4567 Capstone Research. Luettu 12.6.2017.

National Center for Transit Research (NCTR) 2016. Evaluation of Automated Vehicle Technology for Transit 2016. <https://www.nctr.usf.edu/wp-content/uploads/2016/04/79060-21-AVT-for-Transit-Update.pdf>. Luettu 12.6.2017.

Neiger, Chris 2016. Everything You've Always Wanted to Know About Driverless Cars. <https://www.fool.com/investing/general/2016/05/08/everything-youve-always-wanted-to-know-about-drive.aspx>. Luettu 11.6.2017.

Nummelin, Ilkka 2017. Miten ja milloin automaattiautot vaikuttavat suomen vahinkovakuutusliiketoimintaan. Pro gradu –tutkielma. Tampereen yliopisto. Johtamiskorkeakoulu. Vakuutustiede. Luettu 3.7.2017.

Palkkavertailu 2017. Linja-autokuljettajan palkka. <https://palkkavertailu.com/palkka/linja-autonkuljettaja>. Luettu 22.5.2017.

Pell, Rich 2017. Traffic sensor market forecast to 2023. <http://www.smart2zero.com/news/traffic-sensor-market-forecast-2023>. Luettu 26.8.2017.

Peters, Adele 2017. Fast company. What if driverless cars let you cross the street when you wave at them. <https://www.fastcompany.com/3068166/what-if-driverless-cars-let-you-cross-the-street-when-you-wave-at-them>. Luettu 25.5.2017.

Peura, Miska 2017. Joukkoliikennesuunnittelija. HSL - Helsingin seudun liikenne, Helsinki. Sähköpostihaastattelu 7.8.2017.

Plungis, Jeff 2017. Consumer Reports. With autonomous cars, how safe is safe enough. <http://www.consumerreports.org/autonomous-driving/with-autonomous-cars-how-safe-is-safe-enough/>. Luettu 17.5.2017.

Riikonen, Jose 2017. Himoautoileva toimittaja vaihtoi viikoksi kaupunkipyörään: poliisi pysäytti, kuntosalilla käynti loppahti – ja ihan eri Helsinki avautui. <http://www.hs.fi/nyt/art-2000005227406.html>. Luettu 28.5.2017.

Saarinen, Juhani 2017. Sähköbussien valmistus alkaa ensi kerran Suomessa – ”Historiaa ollaan tekemässä”. <http://www.hs.fi/talous/art-2000002803207.html>. Luettu 16.5.2017

Sadler, Katie 2017. Eurotransport. First and last mile: emerging autonomous public transport. <https://www.eurotransportmagazine.com/22134/transport-extra/autonomous-public-transport/>. Luettu 10.05.2017.

Salomaa, Marja 2017. Sähköbussit tulevat rytinällä Helsingin liikenteeseen – ensimmäisenä aloittavat linjat 14 ja 18. <http://www.hs.fi/kaupunki/art-2000005043816.html>. Luettu 16.5.2017.

Santamala, Harri 2017. Projektijohtaja. Metropolia Ammattikorkeakoulu, Helsinki. Haastattelu 29.6.2017.

Santamala, Harri 2017a. Projektijohtaja. Metropolia Ammattikorkeakoulu, Helsinki. Haastattelu 18.7.2017.

Santamala, Harri 2017b. Projektijohtaja. Metropolia Ammattikorkeakoulu, Helsinki. Haastattelu 22.8.2017.

SB Drive Lehdistötiedote 2017. Yahoo! JAPAN Makes Full-fledged Entry into Self Driving Sector with Investment in SB Drive. [Http://www.softbank.jp/en/corp/group/sbd/news/press/2017/20170324_01/](http://www.softbank.jp/en/corp/group/sbd/news/press/2017/20170324_01/). Luettu 21.5.2017.

Simon, Maud 2017. Operatiivinen johtaja. BestMile, Sveitsi. Sähköpostihaastattelu 30.7.2017.

Sinisalo, Kimmo 2017. Projektijohtaja. HSL - Helsingin seudun liikenne, Helsinki. Sähköpostihaastattelu 6.5.2017.

SKAL 2009. Ajoneuvojen kustannuslaskennan perusteet. https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiwupeP7azWAhVEEJoKHZRpDnQQFggI0MAA&url=http%3A%2F%2Fwww.skali.fi%2Ffiles%2F4554%2FKustannuslaskennan_perusteet_2009.pdf&usq=AFQjCNHfVIX9WWGUuMX097NclCQKQX_kJw. Luettu 22.5.2015.

SoftBank Group Corp. 2017. Company Info. <https://www.softbank.jp/en/corp/about/>. Luettu 28.5.2017.

Sohjoa 2017. SOHJOA. [Http://sohjoa.fi](http://sohjoa.fi). Luettu 4.7.2017.

Thompson, Caddie 2016. The 3 biggest ways self-driving cars will improve our lives. [Http://www.businessinsider.com/advantages-of-driverless-cars-2016-6](http://www.businessinsider.com/advantages-of-driverless-cars-2016-6). Luettu 25.5.2017.

Trafi tietokortti 2015. Automaation edistäminen tieliikenteen ajoneuvoissa. https://www.trafi.fi/filebank/a/1424379177/a8d819248b49d8ebbbfb7ef7cd6966d/16901-Trafi_Tietokortti_Automaatio_tieliikenteessa.pdf. Luettu 28.5.2017.

UITP 2017. Policy brief Autonomous vehicles: A Potential game changer for urban mobility. [Http://www.uitp.org/sites/default/files/cck-focus-papers-files/PolicyBrief_Autonomous_Vehicles_LQ_20160116.pdf](http://www.uitp.org/sites/default/files/cck-focus-papers-files/PolicyBrief_Autonomous_Vehicles_LQ_20160116.pdf). Luettu 12.7.2017.

University of Pennsylvania 2017. Tomorrow's Transportation Ecosystem: From Autonomous Vehicles to Public Transit. [Http://knowledge.wharton.upenn.edu/article/tomorrows-transportation-ecosystem-autonomous-vehicles-public-transit/](http://knowledge.wharton.upenn.edu/article/tomorrows-transportation-ecosystem-autonomous-vehicles-public-transit/). Luettu 10.05.2017.

Uusiteknologia 2017. Helsinkiin pikaladattavat sähköbussit. [Http://www.uusiteknologia.fi/2017/01/13/helsinkiin-pikaladattavat-sahkobussit/](http://www.uusiteknologia.fi/2017/01/13/helsinkiin-pikaladattavat-sahkobussit/). Luettu 16.5.2017.

VTT 2017. VTT:n robottiautot siirtyvät yleiselle tielle ja alkavat seurustella keskenään. [Http://www.vtt.fi/medialle/uutiset/vtt-n-robottiautot-siirtyvat-yleiselle-tielle-ja-alkavat-seurustella-keskenaan](http://www.vtt.fi/medialle/uutiset/vtt-n-robottiautot-siirtyvat-yleiselle-tielle-ja-alkavat-seurustella-keskenaan). Luettu 7.9.2017.

Woyke, Elizabeth 2017. A Self-Driving Bus That Can Speak Sign Language. <https://www.technologyreview.com/s/604116/a-self-driving-bus-that-can-speak-sign-language/>. Luettu 10.05.2017.

Yuki, Saji 2017. Toimitusjohtaja. SB Drive, Tokio. Sähköpostihaastattelu 21.5.2017.